

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL



Determinação da Profundidade de *Secchi* na coluna de água através de deteção remota

Catarina Sofia Simões Nunes

Mestrado de Ciências do Mar

Dissertação orientada por:

Prof^a. Dr^a. Vanda Brotas

Dr. Miguel Terra Homem

2017

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Em primeiro gostaria de agradecer à Professora Vanda e ao Dr, Miguel Terra Homem pela oportunidade que me deram para desenvolver este projeto e pela orientação prestada ao longo do desenvolvimento deste. Gostaria de agradecer também á empresa DEIMOS por ter proposto um projeto tão desafiante e por o ter acompanhado.

Um especial obrigado ao Sr. José Torais por todo o apoio prestado na recolha de dados in situ e por ter permitido a realização de campanhas com a escola de mergulho Nautilus. Agradeço também á escola de mergulho Haliotis por ter fornecido medições.

Á minha mãe, um obrigada especial por tudo: pela educação, carinho e apoio prestado, por estar sempre lá para mim. Ao meu pai, irmã e avó obrigada pela vossa boa disposição e carinho que sempre me transmitiram.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram incondicionalmente. Dizem que os amigos são a família que se escolhe, e eu escolhia melhor. E a uma pessoa que me acompanhou desde o início do projeto um especial obrigado.

Por último, agradeço a cooperação da Andreia Tracana do MARE, por toda a ajuda prestada no laboratório e pela excelente companhia.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

A presente dissertação de mestrado teve como principal objetivo investigar algoritmos que permitissem apurar a qualidade da água em zonas costeiras e na foz de rios. Pretendeu-se assim verificar a transparência da água a partir de imagens retiradas de satélites, tais como o *Landsat 7*, *Landsat 8* e *Sentinel 2*. Pretendeu-se chegar a algumas conclusões tais como a viabilidade da utilização de um algoritmo de turbidez para a costa portuguesa, se a partir dos satélites é possível verificar a variação adequada da profundidade de *Secchi* e se no futuro será possível realizar produtos a partir dos mesmos.

Esta investigação dividiu-se em duas fases de trabalho. Uma inicial que correspondeu à recolha e tratamento de dados de campo (Tejo, Sado e Sesimbra) em que, estes dados, serviram de validação dos valores obtidos a partir do algoritmo. A segunda fase correspondeu à criação de imagens com a variação da profundidade de *Secchi*. Estas foram obtidas a partir de dois algoritmos distintos, *Doron* [1] e o de *Susanne Kratzer* [2].

Apurou-se que é possível calcular a profundidade de *Secchi* a partir dos algoritmos. Conclui-se que o desenvolvido por *Doron* [1] apresenta valores de profundidade mais aproximados dos reais. No entanto tanto um como o outro apresenta baixa sensibilidade para baixas profundidades. Verifica-se que o *Sentinel 2* é o satélite que apresenta melhores resultados

Palavras-chave: Profundidade de *Secchi*; Absorção; Satélite; *Landsat*; *Sentinel*, Detecção Remota.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The main objective of the present Master's dissertation was to investigate algorithms to determine water quality in coastal areas and river mouth. The aim of this study was to verify the transparency of water through satellites images, such as *Landsat 7*, *Landsat 8* e *Landsat 2*. It was hoped to reach some conclusions such as the variability of a turbidity algorithm for the Portuguese coast, to study if it was possible to validate the variation of the Secchi depth through satellite images, such as *Landsat* or *Sentinel-2*, and if in the future it will be possible to create products from it.

This investigation was divided in two phases. An initial phase, that corresponded to the gathering and management of the field data (Tejo, Sado e Sesimbra) in which, these data served as validation of the values derived from the algorithms. The second phase corresponded to the creation of images with *Secchi* depth. These were obtained from two different algorithms, *Doron* [1] and *Susanne Kratzer* [2].

It was found that it is possible to calculate *Secchi* depth from the algorithms. It was concluded that the one developed by *Doron* [1] presents values of depth closer to the real ones. However, both of them show low sensitivity to short depths. The best results obtained were from *Sentinel 2* data.

Key words: *Secchi* depth; Absorption; Satellite; *Landsat*; *Sentinel*; Remote Sensing.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

Índice.....	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Acrónimos	xv
Simbologia e Notações.....	xvii
1. Capítulo – Introdução	19
1.1 Enquadramento.....	19
1.2 Objetivo e estrutura da dissertação.....	20
1.3 Características do meio aquático	20
1.3.1 Clorofila_a.....	21
1.3.2 Matéria orgânica dissolvida- CDOM	21
1.3.3 Matéria particulada- SPM.....	22
1.3.4 Profundidade fótica	22
1.4 Base histórica do disco de <i>Secchi</i>	23
1.4.1 Estado da arte em relação ao disco de <i>Secchi</i>	24
2. Capítulo – Metodologia dos dados <i>in situ</i>	31
2.1.1 Campanhas	33
2.1.2 Recolha de amostras das Escolas de Mergulho	35
2.1.3 Métodos laboratoriais	36
3. Capítulo – Metodologia das imagens de satélite	41
3.1 Processamento de imagens	42
3.1.1 <i>ExtractMask</i> (Criação da máscara Terra/nuvens).....	42
3.1.2 <i>ProcessAlgorithm</i> (Criação das imagens de profundidade de <i>Secchi</i>)	49
3.2 Aquisição da profundidade.....	51
4. Capítulo – Resultados.....	53
4.1 Resultados da análise laboratorial	53
4.2 Resultados do <i>script</i>	57
4.2.1 Escolas de mergulho.....	58
4.2.2 Campanhas	60
4.2.3 Absorções	63
5. Capítulo – Análise de resultados	66
5.1 Profundidade de <i>Secchi</i> VS Profundidade Fótica.....	71
6. Capítulo – Conclusão	73

6.1 Melhoramentos e Sugestões	74
Bibliografia.....	76
Anexos.....	79
Anexo A – Protocolo da análise da matéria em suspensão	79
Anexo B – protocolo de processamento de matéria orgânica em suspensão	81
Anexo C – Protocolo de processamento do Fitoplâncton (concentração de clorofila_a e de feopigmentos ($\mu\text{g.L}^{-1}$))	83
Anexo D – Protocolo de Absorção, medição da absorvância no espectrofotômetro.....	85
Anexo E – Relatórios das campanhas	87
Saída de 30/9/2015	87
Amostra de 26/1/2016	89
Saída de 14/3/2016	90
Saída de 17/4/2016	92
Saída de 20/5/2016	93
Saída de 26/6/2016	94
Saída de 15/7/2016	95
Anexo F – Material fornecido às escolas de mergulho	96
Anexo G – Espectros de absorção do CDOM para cada amostragem	100
Anexo H – Medições realizadas	101
Anexo I– Medições modeladas e <i>in situ</i>	106
Anexo J – <i>Script</i>	108

Índice de Figuras

Figura 1.1: Representação esquemática do espectro eletromagnético por ordem	21
Figura 1.2: Espectro de absorção por parte dos diferentes constituintes.....	22
Figura 1.3: Fotografia do disco de Secchi obtida durante as campanhas.	23
Figura 1.4: Representação esquemática dos passos para o calculo do algoritmo de Doron.....	26
Figura 1.5: Esquema representativo do algoritmo desenvolvido por Kratzer.	30
Figura 2.1: Disposição dos locais de amostragem: Vermelho- Peniche e as Berlengas (1 amostragem realizada); Amarelo- Tejo (19 amostragens realizadas); Azul- Sado (10 amostragens realizadas); Cinzento -Zona de Sesimbra (50 amostragens). Imagem retirada a partir do Google Earth.....	31
Figura 2.2: Esquema representativo dos processs para a colheita de dados in situ.....	32
Figura 2.3: Amostragens realizadas pelas escolas de mergulho em Peniche (esquerda) e em Sesimbra (direita)	32
Figura 2.4: Amostragens realizadas no Tejo (esquerda) e no Sado (direita).....	33
Figura 2.5: Esquema representativo dos discos de Secchi usados/criados para a aquisição de profundidades in situ.com um cabo de 15m, subdividido em 25 cm	35
Figura 2.6: Esquema das análises laboratoriais realizadas a cada amostra de água.	36
Figura 2.7: Material usado para o processamento das amostragens provenientes	37
Figura 2.8: Espectros de absorção da amostra 2 de 30/09/2016 Tejo. Encontra-se representado os espectros de amostra original (amostra), da amostra com lixívia (amostra-lixívia e dos brancos com lixívia (branco-lixívia) e sem lixívia (branco).....	39
Figura 2.9: Espectro de absorção da amostra	40
Figura 3.1: Representação esquemático do processo do programa ExtractMask_XXXXX (para o caso apresentado ExtractMask_15273), no qual há a criação de pastas para guardar as imagens com os valores de radiância e de reflectância já com a mascara aplicada.....	43
Figura 3.2: Tabela retira da do Landsat 8 com os valores que correspondem as características físicas de cada pixel [45].....	44
Figura 3.3: Imagem obtida a partir do "pacote" LC82040332016116LGN00 do Landsat8 do ano 2016 dia juliano 116. A) corresponde á Banda 5 do NIR. B) corresponde á imagem BQA (retirada de USGS). C). Mascara final.	45
Figura 3.4: Imagem retirada a partir do programa MATLAB da Banda 5 (NIR) do pacote de LE72040332015329ASN00 do Landsat 7.....	46
Figura 3.5: Representação esquemática do processo do programa SNAP e os seus resultados. Neste processo transforma-se as imagens de Sentinel 2 em Geotiff, e realiza-se o resample das mesmas.....	47
Figura 3.6: Representação esquemática do processo do programa ExtractMask_XXXXX (para o caso apresentado ExtractMask_152212), no qual há a criação de pastas para guardar as imagens com os valores de.....	48
Figura 3.7: Representação dos processos usados para o processamento das imagens de Sentinel 2. Em cima encontra-se a imagem a ser processada no programa SNAP da ESA. Em baixo encontram-se as imagens processadas a partir de Matlab (esquerda imagem obtida a partir do algoritmo de Kratzer, direita imagem obtida para o algoritmo de Doron).	48
Figura 3.8: Imagens obtidas a partir do script ProcessAlgorithm para a imagem do Landsat8 referente	51
Figura 3.9: Imagem obtida através de Matlab (A) e introduzina no programa Qgis (B).	52
Figura 3.10: Imagem ampliada a uma escala de 1:5000 com os pixéis analisados A imagem em questão é do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016,com a profundidade de Secchi obtida através de Doron [1].	52
Figura 4.1: Relação entre a concentração de matéria em suspensão (mg/L) e a profundidade de Secchi (m).	54
Figura 4.2: Relação entre a concentração de clorofila e a profundidade de Secchi.	54

Figura 4.3: Média do espectro de absorção do CDOM para cada um dos locais de amostragem. Realizada a partir da média dos valores das amostragens para cada um dos locais.....	55
Figura 4.4: Gráficos com os espectros de absorção para as amostras recolhidas nas campanhas.....	56
Figura 4.5: Localização das áreas de medição realizadas pelas escolas de mergulho.....	58
Figura 4.6: Gráfico representativo dos resultados das profundidades de Secchi obtidos teoricamente (m) a partir de Matlab e Qgis (laranja foram obtidos a partir do algoritmo de Doron e a azul os obtidos por Kratzer) e das profundidades obtidas in situ (m).....	59
Figura 4.7: Diferença obtidas entre os algoritmos e os valores reais. A azul encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Doron e os valores reais. A laranja encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Kratzer e os valores reais.	60
Figura 4.8: Imagem obtida a partir do site EarthExplorer [41] com	60
Figura 4.9: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os in situ para	61
Figura 4.10: Diferença obtidas entre os algoritmos e os valores reais. A azul encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Doron e os valores reais. A laranja encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Kratzer e os valores reais.	62
Figura 4.11: imagens obtidas a partir de Matlab com a variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).....	63
Figura 4.12: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00 dia 20 de janeiro de 2016. A) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).....	63
Figura 4.13: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 20 de fevereiro de 2016 para o Tejo. A) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).....	64
Figura 4.14: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016 para o Sado. A) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).....	65
Figura 4.15: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016 para Sesimbra. A) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade de Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).....	65
Figura 5.1: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os in situ para cada algoritmo, com..	67
Figura 5.2: Variação da diferença entre cada algoritmo e o valor real com o aumento da profundidade (Δ Erro). A azul é a linha de tendência obtida a partir da diferença entre o algoritmo desenvolvido por Doron e o valor real [m]. A laranja é a linha de tendência obtida a partir da diferença entre o algoritmo desenvolvido por Kratzer e o valor real [m].....	67
Figura 5.3: Variação da diferença entre os valores dos dois algoritmos com a profundidade.	68
Figura 5.4: Diferença calculada a partir dos algoritmos para cada pacote de imagem (amarelo corresponde ao Landsat 7; verde corresponde ao Landsat 8; azul corresponde ao Sentinel 2). As retas representam a média obtida a partir da diferença entre algoritmos para cada satélite.	68
Figura 5.5: Gráfico dos erros obtidos a partir dos algoritmos e dos valores in situ	69
Figura 5.6: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os in situ para cada algoritmo, com..	71
Figura 5.7: Variação da diferença entre os valores dos dois algoritmos com a profundidade.	71
Figura 5.8: Imagem representativa da profundidade medida a partir.....	72

Índice de Tabelas

Tabela 1.1: Variáveis usadas no algoritmo desenvolvido por Doron.....	25
Tabela 1.2: Representação dos valores da retrodifusão da água para	28
Tabela 2.1: Amostragens realizadas nas 7 campanhas. Com respectiva localização e hora de recolha..	34
Tabela 2.2: Amostragens que coincidem com a passagem do satélite, utilizadas para a validação das imagens de satélite (Figura 4.6).	35
Tabela 3.1: Representação das bandas espectrais do Sentinel 2, com os respectivos comprimentos de onda e a indicação da presença de uma imagem de qualidade (Gatti et al. 2015, Sentinel-2 Products and Specification Document).....	41
Tabela 3.2: Representação das bandas espectrais de cada um dos satélites, com os respectivos comprimentos de onda e a indicação da presença de uma imagem de qualidade [44] [45].	42
Tabela 3.3: Código do nome das imagens de Landsat	43
Tabela 3.4: Código adotado das imagens de Sentinel 2.	46
Tabela 3.5: Cálculos necessários para a realização do primeiro passo do algoritmo de Doron et al. (2011), que se baseia no cálculo da absorção e da retrodifusão para os 490 nm a partir do comprimento de onda dos 555 nm.	49
Tabela 3.6: Cálculos necessários para a realização do primeiro passo do algoritmo realizado	50
Tabela 3.7: Cálculos referentes à Profundidade de Secchi, com.....	51
Tabela 4.1: Identificação das amostras, com o respetivo local de amostragem dia e hora, e a sua respetiva concentração de SPM, o coeficiente de absorção aos 490 nm e a concentração de clorofila_a.....	53
Tabela 4.2: Pacotes de imagens de satélite correspondentes aos dias em que as escolas de mergulho realizaram as amostragens in situ, e as campanhas. Estes foram obtidos a partir de USGS e ESA.....	57
Tabela 4.3: Análise estatísticas das áreas de medição realizadas pelas escolas de mergulho.	58
Tabela 4.4: Profundidades de secchi reais e modeladas com os respetivos pacotes de imagens.	59
Tabela 4.5: Profundidades de Secchi reais e modeladas com os respetivos pacotes de imagens.....	61
Tabela 4.6: Média dos valores obtidos para a absorção aos 440 nm para cada imagem.	64
Tabela 5.1: Profundidades de Secchi in situ e obtidas a partir dos algoritmos de Doron [1] e de Kratzer [2] para cada pacote de imagem, encontram-se reunidos os resultados das campanhas e das amostras recolhidas pelas escolas de mergulho.....	66
Tabela 5.2: Representação esquemática dos resultados finais da dissertação	70
Tabela 5.3: Valores das profundidades fóticas obtidas a partir da	72

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Acrónimos

<i>SPM</i>	- Matéria particulada em suspensão, <i>suspended particulate matter</i> .
<i>CDOM</i>	- Matéria orgânica dissolvida, <i>colored dissolved organic matter</i> .
<i>Chl_a</i>	- Clorofila.
<i>DOC</i>	- Carbono orgânico dissolvido, <i>dissolved organic matter</i> .
<i>NIR</i>	- Infravermelho próximo, <i>near infrared</i> .
<i>GPS</i>	- <i>Global position system</i> .
<i>OLI</i>	- <i>Operational Land Imanager</i> .
<i>P.S.</i>	- <i>Profundidade de Secchi</i> .
<i>SNAP</i>	- <i>Sentinel Application Platform</i> .
<i>ESA</i>	- <i>European Space Agency</i> .
<i>NASA</i>	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i> .
<i>SWIR</i>	- Infravermelho de baixo comprimento de onda, <i>short infrared</i> .

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Simbologia e Notações

K_d	- Coeficiente de atenuação vertical.
$K_{d_{490}}$	- Coeficiente de atenuação vertical aos 440 nm.
Z_d	- Profundidade de <i>Secchi</i> .
a	- Absorção.
b	- Espalhamento (Scattering).
b_b	- Retrodifusão (Backscattering).
b_{bp}	- Retrodifusão realizada por partículas.
b_{bw}	- Retrodifusão realizada pela água pura.
nL_w	- Radiação normalizada que sai da água.
$\bar{F}_0(\lambda)$	- Radiação solar que chega.
$E_d(0^+, \lambda)$	- Radiação que penetra na coluna de água.
θ	- Ângulo do zénite.
ϕ	- Ângulo do azimute.
R_{rs}	- Reflectância obtida remotamente a partir da superfície.
r_{rs}	- Reflectância sentida remotamente abaixo da superfície.
η	- Variação espectral da retrodifusão das partículas.
ν	- Coeficiente dimensional.
Z_{SD}	- Profundidade de <i>Secchi</i> , calculado por Doron et al, 2011.
Z_{sd}	- Profundidade de <i>Secchi</i> , calculado a partir do algoritmo de Doron et al, 2011 em <i>Matlab</i> .
Z_{sd_d}	- Profundidade de <i>Secchi</i> , calculado a partir do algoritmo de Kratzer et al, 2008.
$Z_{sd_{doce}}$	- Profundidade de <i>Secchi</i> , calculado por Kratzer et al, 2008 em <i>Matlab</i> .
γ_0	- <i>Coupling contrast</i> .
C_0	- Contraste inerente.
C_{min}	- Contraste mínimo aparente visto pelo olho humano.
λ	- Comprimento de onda.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1. Capítulo – Introdução

1.1 Enquadramento

As águas oceânicas e estuarinas apresentam substâncias e partículas em suspensão que afetam o campo de propagação da luz na coluna de água [3].

Quando a luz incide na superfície da água a maioria penetra na sua coluna e a restante é refletida. A radiação, ao penetrar na coluna de água, é atenuada por substâncias presentes no meio que se podem encontrar sob a forma de partículas em suspensão (células de fitoplâncton, detritos minerais e partículas sedimentares) e matéria orgânica dissolvida (CDOM) [4], influenciando a transparência da água e variando a profundidade até onde consegue penetrar na coluna de água, denominado de camada fótica [5].

A obtenção da profundidade da camada fótica pode ser realizada através da relação empírica que existe entre si e a profundidade medida a partir do disco de *Secchi*. O disco é um material oceanográfico tradicionalmente branco com 30 cm de diâmetro que é largado na coluna de água para medir a profundidade onde este deixa de ser visível, a medida denomina-se de profundidade de *Secchi* [6].

Nas ultimas décadas, a informação transmitida por satélites tornou-se uma parte integral no nosso quotidiano. Estes encontram-se presentes em variadas atividades diárias, tais como as previsões meteorológicas, sistemas de localização, telecomunicações, e permitiram revolucionar a forma como vemos e interpretamos fenómenos oceanográficos (ao nível oceânico e costeiro) e meteorológicos [7].

A detecção remota refere-se à técnica de aquisição de informação sobre objetos ou fenómenos por análise de dados obtidos através de instrumentos de medição, os quais não se encontram em contacto físico com o objeto ou fenómeno. Os sensores óticos a bordo dos satélites medem a quantidade de radiação refletida, neste caso, pela água. Permitindo a visualização em grande escala e a análise de zonas remotas do planeta onde o ser humano não poderia ter acesso, já que a colheita de dados *in situ* em certas zonas é um processo complicado.

Vários estudos aferiram uma correlação próxima entre a transparência da água medida a partir do disco de *Secchi*, e a radiação medida na banda dos azuis e dos vermelhos [8], [9].

A presente dissertação tem como objetivo calcular a profundidade de *Secchi* a partir de imagens de satélite através da relação acima aferida. Para o estudo utilizaram-se três satélites distintos, o *Sentinel 2* da ESA, o *Landsat 7* e *8* da NASA. As imagens criadas pelos três variam em resolução e intervalo de comprimento de onda entre bandas. Às imagens foram aplicados dois algoritmos para o cálculo da profundidade de *Secchi*, o de *Maéva Doron* [1] e o de *Susanne Kratzer* [2], de forma a verificar a sua viabilidade para o calculo da profundidade e a diferença obtida entre ambos.

A validação dos valores obtidos foi realizada a partir de dados *in situ*, de vários locais com diferentes características (morfológicas e físicas, tal como o Tejo e Sesimbra). Para a realização das medições foi utilizado um disco de *Secchi* que, independentemente de ser um dos materiais oceanográficos mais antigos, é de fácil transporte e utilização. As medições foram realizadas através de campanhas e parcerias com escolas de mergulho. A recolha de água foi realizada a partir de campanhas e a obtenção da concentração de substâncias foram depois realizadas em laboratório aplicando vários procedimentos.

1.2 Objetivo e estrutura da dissertação

No presente estudo ambicionou-se investigar algoritmos que permitissem apurar a profundidade de *Secchi* em zonas costeiras e na foz de rios a partir de imagens retiradas de satélites, tais como o *Landsat 7*, *Landsat 8* e *Sentinel 2*. Poucos foram os estudos que se basearam na costa portuguesa para a validação de algoritmos.

A profundidade de *Secchi* é um indicador de biomassa marinha, sendo uma mais valia para estudos de eutrofização e poluição. Pode também ser implementada nas actividades de mergulho pois para além de apresentar uma relação empíria com a profundidade da camada fótica indica a possibilidade de se poder realizar mergulho numa determinada área de forma segura.

Esta dissertação dividiu-se em duas fases de trabalho. Uma inicial que correspondeu à recolha e tratamento de dados de campo, em que estes dados serviram de validação dos valores obtidos a partir do algoritmo. A segunda fase correspondeu à criação de imagens com a variação da profundidade de *Secchi* concebidas a partir dos algoritmos.

Apresentam-se assim duas metodologias distintas e com objetivos que se complementam.

No final procede-se a um breve tratamento estatístico de forma a verificar se os algoritmos são viáveis.

A Presente dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- 1 Capítulo – Introdução: apresenta uma exposição da base científica necessária para uma compreensão das características óticas da água, e como esta interage com a radiação. Explicação do porquê da utilização destes dois algoritmos e a descrição dos cálculos necessários para a obtenção dos valores da profundidade de *Secchi*.
- 2 Capítulo – Metodologia dos dados *in situ*: baseia-se numa descrição detalhada de todo o trabalho laboratorial realizado e as parcerias criadas, com as escolas de mergulho, para a recolha de dados de campo.
- 3 Capítulo – Metodologia das imagens de satélite: descrição dos *scripts* criados a partir dos algoritmos desenvolvidos por Doron e Kratzer para o tratamento das imagens.
- 4 Capítulo – Resultados: Descrição dos valores obtidos a partir das campanhas e trabalhos laboratoriais e os valores obtidos teoricamente.
- 5 Capítulo – Análise de resultados: Procede-se a um tratamento estatístico dos dados.
- 6 Capítulo – Conclusão: Descrição dos resultados obtidos.

1.3 Características do meio aquático

As águas oceânicas, costeiras e estuarinas contêm substâncias (matéria orgânica dissolvida; CDOM) e partículas (células de fitoplâncton, detritos argilosos e partículas sedimentares) que afetam o campo de propagação da luz ao longo da coluna de água. De acordo com a quantidade de substâncias e partículas presentes é possível classificar as águas em dois grupos.

As águas podem ser classificadas por tipo 1 e tipo 2 [10]. O tipo 1 é constituído por águas mais transparentes apresentando uma baixa concentração de substâncias e partículas no seu meio, como por exemplo detritos argilosos, sedimentos e CDOM, com exceção do fitoplâncton. Por definição, nas águas tipo 1, as propriedades óticas só são influenciadas pelo Fitoplâncton. O tipo 2 apresenta variados géneros de substâncias e partículas no seu seio (fitoplâncton, CDOM, SPM) [11]. Sendo assim águas oceânicas são classificadas de águas tipo 1 e estuarinas de águas tipo 2, as águas costeiras tanto podem ser do tipo 1 ou do tipo 2.

Bio-ótico é definido como o estudo da interação entre organismos vivos, matéria dissolvida e em suspensão com a luz nas águas. Os componentes bio-óticos influenciam a absorção e a difração do campo da luz na coluna de água, a qual já por si absorve e dispersa [4]. As características bio-óticas encontram-se divididas em dois grupos [2]:

- Propriedades óticas aparentes, afetadas maioritariamente pelo campo da radiação.
- Propriedades óticas inerentes: as quais dependem das substâncias presentes no meio. Tais como o fitoplâncton, SPM, CDOM, e partículas de sedimento.

As características óticas inerentes afetam a absorção e a dispersão da radiação na coluna de água [4] influenciando o coeficiente de atenuação vertical absorvendo, difundido e refratando diferentes comprimentos de onda (Figura 1.1). Estas dependem da concentração das matérias/substâncias presentes no meio, e não das características do campo da luz [3], determinam a cor do oceano e contribuem para a atenuação da luz na água [6].

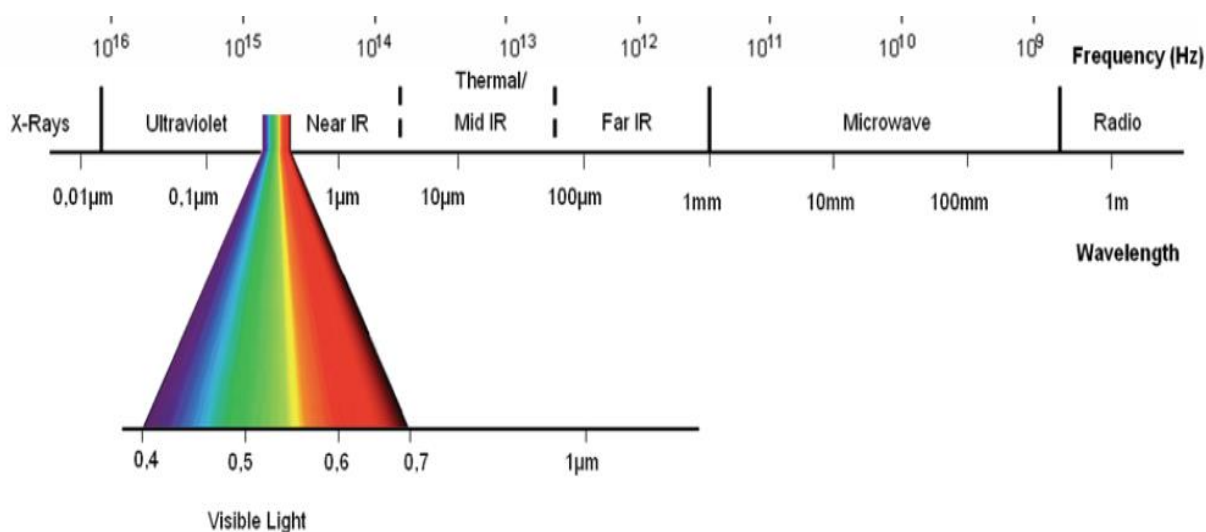


Figura 1.1: Representação esquemática do espectro eletromagnético por ordem de grandeza e respetivo comprimento de onda (adaptado de Brito et al. 2015).

1.3.1 Clorofila_a

A clorofila é o pigmento fotossintético que funciona como um indicador de biomassa marinha que converte a energia da luz em energia química [13]. O fitoplâncton é um produtor primário marinho, que absorve a radiação através dos seus pigmentos fotossintéticos [4], absorvendo a radiação na zona do visível [13] [14] atingindo valores mínimos nos verdes e mais altos nos azuis.

1.3.2 Matéria orgânica dissolvida- CDOM

A matéria orgânica dissolvida colorada, CDOM, [4] é o maior componente de carbono orgânico dissolvido (DOC). O CDOM (conhecido como substância amarela) absorve certos comprimentos de onda do visível, muito no azul e diminuindo à medida que o comprimento de onda vai aumentando, apresentando assim uma cor amarelada-acastanhada [4].

1.3.3 Matéria particulada- SPM

A matéria particulada é constituída por material húmico e sedimentos, ambos provenientes de solos. Um aumento de matéria particulada que irá influenciar a transparência da coluna de água através da absorção e da difusão [16][18] de vários comprimentos de onda [4].

A absorção por parte do CDOM e a difusão por parte dos sedimentos e detritos argilosos podem afetar a absorção na zona dos azuis, mais do que a clorofila (Figura 1.2) [9].

1.3.4 Profundidade fótica

A zona fótica é definida como a profundidade até onde a radiação chega na coluna de água, e é suficiente para o crescimento do fitoplâncton e para a produção primária. Quanto mais limpa (transparente) for a água e mais intensa for a radiação incidente, maior será a profundidade que esta penetra [5]. A profundidade fótica pode chegar aos 200 m em oceano aberto e menos de 15 m em zonas costeiras.

A radiação solar ao penetrar na coluna de água vai sofrer uma atenuação perdendo intensidade de forma exponencial [3] com a profundidade, fazendo variar o campo da radiação. O processo de atenuação da radiação ao longo da coluna de água é definido como o coeficiente de atenuação vertical, K_d , sendo este influenciado pelas propriedades inerentes do meio aquático e não pela radiação incidente [3].

O método de absorção/difusão realizado pelo fitoplâncton, sedimentos, detritos argilosos, compostos de CDOM e a própria água começa quando a luz penetra a superfície da água [3]. As partículas em suspensão alteram a direção da energia eletromagnética quanto maior for a concentração das substâncias misturadas na água, maior será a taxa de absorção e difusão da radiação. Mediante isso, em zonas de elevada turbidez e em zonas costeiras registam-se profundidades fóticas inferiores ao oceano aberto.

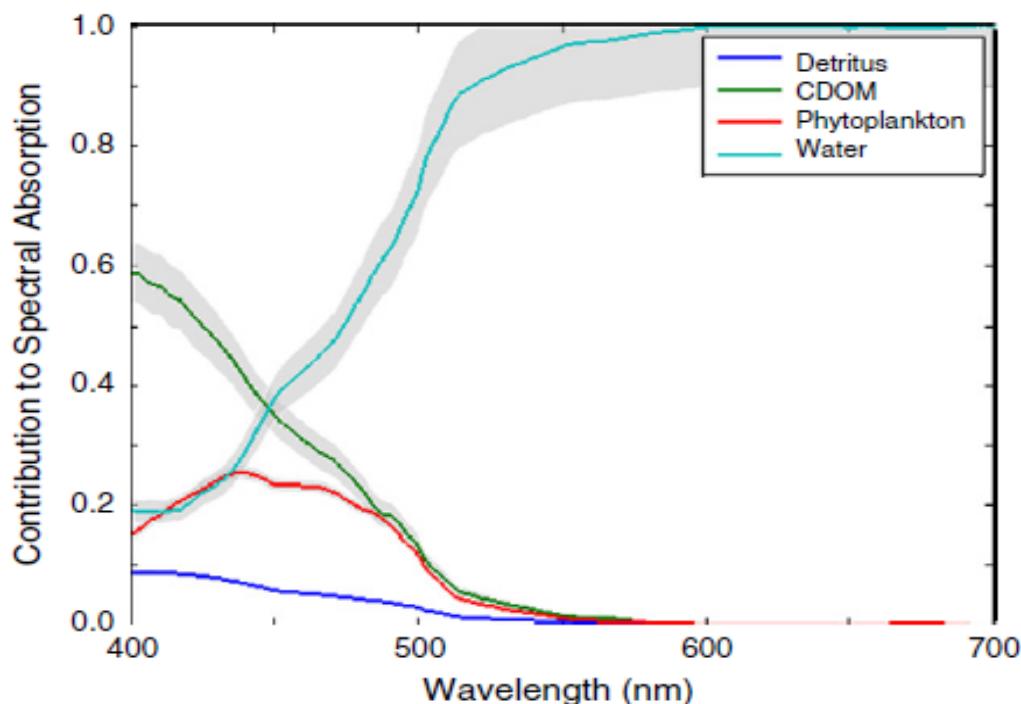


Figura 1.2: Espectro de absorção por parte dos diferentes constituintes bio-bióticos da água (retirado de Siegel et al 2013).

1.4 Base histórica do disco de *Secchi*

Desde a época de *Louis de Marsilli* (1658-1730) até ao século XIX a água era avaliada pela sua cor e transparência através da sua visualização. Para uma melhor análise, esta era colocada num vaso sendo descrita como turva [19] ou transparente.

O Capitão *Berard*, durante uma passagem pela ilha de *Wallis*, colocou um prato de porcelana, de forma circular, numa rede e baixou-o até que este desaparecesse. Tornou-se assim a primeira pessoa a pensar numa maneira de determinar a transparência da água através da observação visual com um disco branco submerso [20]. Estas observações foram descritas por *Arago* (1786-1853) [19].

O Capitão *Cialdi*, que se encontrava à frente da marinha papal, em 1865, mostrou-se interessado em medir a transparência do mar. Com este objetivo, recorreu ao Prof. *P. A. Secchi*, com o qual organizou e conduziu um programa científico de observações, a partir da embarcação *SS L'Immacolata Concezione*. Passado um mês os resultados foram publicados, “*Sur la transparence de la mer*” [21].

Secchi escreveu um artigo [21] onde comenta o efeito de diferentes variáveis que afetam a leitura do disco de *Secchi*, sendo que os resultados obtidos dependiam do tamanho e brilho do disco, da distância do utilizador à superfície da água e da altitude do sol. Foi referido ainda que outro cuidado que se deveria ter ao utilizar o equipamento. Seria a realização das medições com uma sombra sobre o local de estudo, devido ao efeito de reflexão por parte da superfície, já que esta faz variar a profundidade medida. Foi assim criado um protocolo para a realização de medições da transparência da água, tornando o disco de *Secchi* um equipamento essencial nas embarcações de investigação

O disco de *Secchi* (Figura 1.3), tradicionalmente branco com 30 cm de diâmetro, ao ser largado na coluna de água indica a profundidade a partir da qual deixa de ser observado. Essa profundidade é assim determinada de profundidade de *Secchi* [22], a qual, é inversamente proporcional à quantidade de matéria orgânica e inorgânica, presente na água [23].

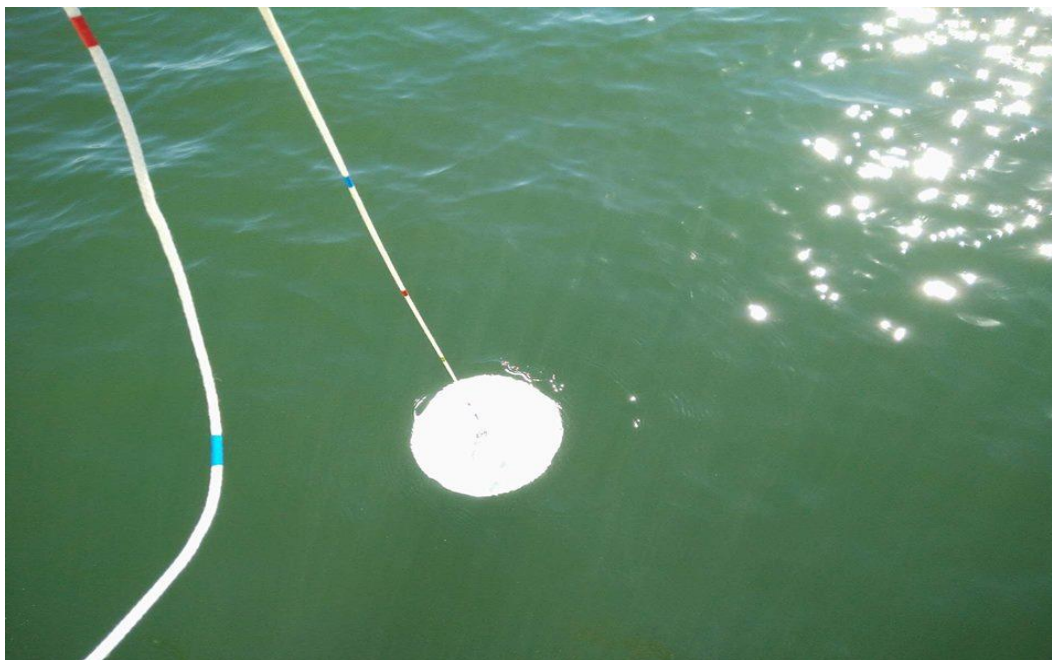


Figura 1.3: Fotografia do disco de *Secchi* obtida durante as campanhas.

Realizaram-se estudos com o objetivo de apurar qual a melhor técnica de observação *in situ*, nos quais se variou a cor do disco, branco e/ou preto, o seu tamanho e a sua observação através de filtros de cor [24].

De acordo com Hou [22], e Aas [24], foi demonstrado o seguinte:

- O disco preto pode ser utilizado como uma medida robusta da visibilidade debaixo de água;
- O disco com quadrantes brancos e pretos, usado especialmente em lagos, apresentavam resultados de visibilidade semelhantes ao disco preto;
- A variação do tamanho dos discos depende do local de estudo, sendo que para medições em lagos está estandardizado um diâmetro de 20cm e para locais marinhos 30cm.
- A redução do diâmetro do disco de 30 para 10 cm mostrou uma redução da profundidade de *Secchi* medida, que em média varia dos 10-20%.

1.4.1 Estado da arte em relação ao disco de *Secchi*

Os oceanos e as zonas costeiras apresentam uma elevada variedade de substâncias químicas e componentes biológicas, os quais incluem nutrientes, sedimentos, seres vivos, entre outros. No entanto, devido ao aumento da atividade humana houve um incremento de substâncias nas zonas costeiras e estuarinas, tornando-se indispensável monitorizar a sua qualidade, não só para consumo e lazer humano, mas também, pela necessidade de preservação ambiental.

Como se encontra referido anteriormente, o disco de *Secchi* é utilizado para estudos da qualidade da água. No entanto, devido à metodologia de utilização do equipamento, torna-se difícil medir a profundidade de *Secchi* com regularidade e em zonas de difícil acesso.

Os satélites possibilitam a obtenção de imagens (a nível global) em vários comprimentos de onda, facilitando o estudo e compreensão de fenómenos dos nossos oceanos e proporcionando a caracterização e quantificação das características óticas inerentes.

Foram realizados vários estudos [25][11][4][9] que relacionaram a profundidade de *Secchi* medida *in situ* com as bandas medias a partir de sensores. Estes apresentaram uma correlação próxima entre a transparência da água, medida a partir do disco de *Secchi*, com a radiação na banda dos azuis e dos vermelhos refletida a partir da superfície da água [7].

Na análise das imagens de satélite, utilizaram-se dois algoritmos distintos para o cálculo teórico da profundidade de *Secchi*. O algoritmo desenvolvido por Doron [1], que adaptou e criou algoritmos empíricos e semi-analíticos para estimar a profundidade de *Secchi* em zonas costeiras e oceano aberto. E o algoritmo desenvolvido por Kratzer [11], a partir do qual é possível obter-se o Kd_{490} (denominado de coeficiente de atenuação vertical no comprimento de onda dos 490 nm, afetado pelas propriedades bio-ólicas do meio aquático) e a profundidade de *Secchi* a partir dos dados de satélite, especificamente dos comprimentos de onda (λ) 490 e 620 nm. O seu estudo foi realizado no Mar Báltico (na zona *Himmerfjärden*), caracterizado por uma estratificação permanente da salinidade com uma camada de superfície salobra.

1.4.1.1 Doron et al (2011)

Doron [1] adaptou e desenvolveu algoritmos com o objetivo de estimar a profundidade de *Secchi* a partir de dados de satélite. A água apresenta componentes bio-ólicas em suspensão na coluna, tais como material particulado, fitoplâncton e material orgânico, que afetam a profundidade de *Secchi*. Doron baseou-se nas características bio-ólicas recolhidas previamente para o desenvolvimento deste estudo. Os algoritmos foram validados a partir de uma relação entre dados obtidos no local e as imagens de satélite correspondentes.

Tabela 1.1: Variáveis usadas no algoritmo desenvolvido por Doron.

Variáveis	Significado
λ	Comprimento de onda
θ	Ângulo zénite
ϕ	Azimuth
0^+	radiação acima da superfície da água
0^-	radiação abaixo da superfície da água.
$nL_w(0^+, \lambda)$	Radiação normalizada
$L_w(0^+, \lambda, \theta, \phi)$	Radiação que sai da superfície da água
$\bar{F}_0(\lambda)$	Espectro da radiação solar
$E_d(0^+, \lambda)$	Radiação que penetra na coluna de água
$R_{rs}(0^+, \lambda)$	Valor de reflectância para um dado comprimento de onda (λ)
r_{rs}	Reflectância obtida remotamente, correspondente a valores abaixo da superfície
$a(\lambda)$	Absorção de um dado comprimento
$u(\lambda)$	Coefficiente característico do algoritmo
$b_b(\lambda)$	Coefficiente de retrodifusão
$b_{bw}(\lambda)$	Coefficiente de retrodifusão realizada pela água
$b_{bp}(\lambda)$	Coefficiente de retrodifusão realizada pelas partículas
η	dependência do comprimento de onda do coeficiente de retrodifusão das partículas
$K_d(490)$	Coefficiente de atenuação vertical.
$R(0^-, \lambda)$	Valores da reflectância
γ_0	<i>Coupling contrast</i>
C_o	Contraste inerente
C_{min}	Contraste mínimo aparente visto pelo olho humano
R_{SD}	Refletância do disco de <i>Secchi</i> ,
R_∞	Refletância do ambiente
Z_{SD}	Profundidade de <i>Secchi</i>

De acordo com a Figura 1.4 o algoritmo de Doron [1] encontra-se dividido em três níveis:

- No nível 0 calcula-se o valor normalizado da radiação que sai da superfície da água e o valor de reflectância;
- O nível 1 calcula os valores de absorção e de retrodifusão a partir dos resultados do nível 0;
- Por fim o nível 2 recorre aos valores obtidos no nível 0 para o calculo da profundidade de *Secchi*.

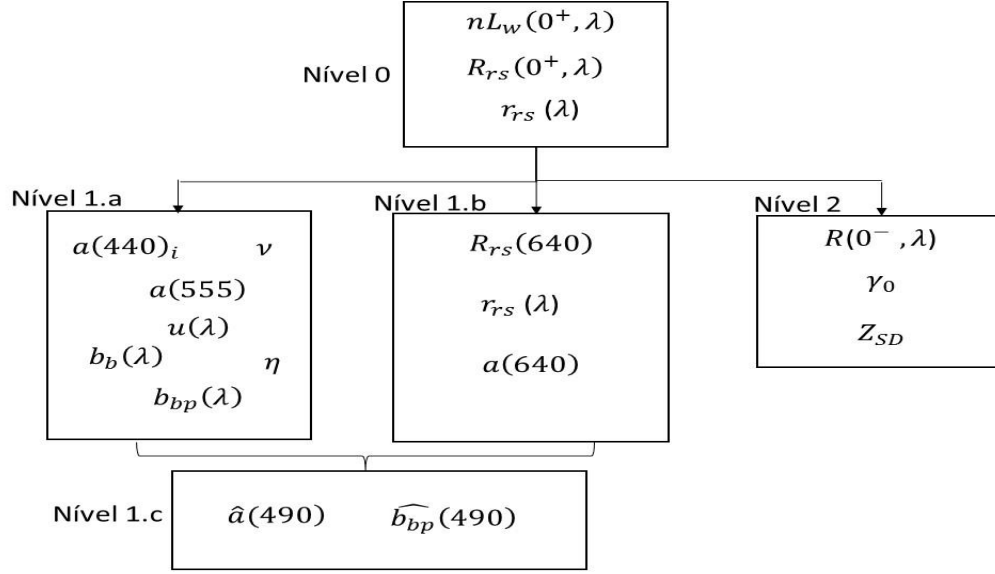


Figura 1.4: Representação esquemática dos passos para o cálculo do algoritmo de Doron.

Nível 0

O algoritmo de *Doron* [1] no **Nível 0**, inicia-se pelo processo de transformação da radiação medida pelos sensores, Figura 1.4.

A radiação normalizada (nL_w) que sai da água (equação 1.1) depende de:

- Radiação que sai da superfície da água ($L_w((0^+, \lambda, \theta, \phi))$);
- O espectro da radiação solar, $\bar{F}_0(\lambda)$;
- Radiação que penetra na coluna de água, $E_d(0^+, \lambda)$.

A partir da equação 1.1, observa-se que existe uma dependência do ângulo zênite (θ) e do azimute (ϕ), que por sua vez dependem do ângulo de observação.

$$nL_w(0^+, \lambda) = L_w(0^+, \lambda, \theta, \phi) \frac{\bar{F}_0(\lambda)}{E_d(0^+, \lambda)} \quad 1.1.$$

Onde 0^+ corresponde aos dados da radiação acima da superfície da água.

O valor de reflectância (R_{rs}) varia com a radiação obtida e é calculado com o auxílio da equação 1.2 [26].

$$R_{rs}(0^+, \lambda) = \frac{nL_w(0^+, \lambda)}{\bar{F}_0(\lambda)} \quad 1.2.$$

A reflectância obtida remotamente, correspondente a valores abaixo da superfície (0^-) é dada pela equação 1.3, criada por Lee [27], que considera os comprimentos de onda de gamas: 440, 490, 555 e 670nm.

As variáveis são:

- $T = 0.52$ encontra-se relacionado com a transmitância da radiação acima e abaixo da superfície da água e o seu índice refrativo;
- y corresponde ao coeficiente de reflexão entre o ar e a água;
- q é dado através do rácio de upwelling da irradiância e da radiância abaixo da superfície da água, $yq = 1.7$ [27].

$$r_{rs} = \frac{R_{rs}}{T + yqR_{rs}} \quad 1.3.$$

Nível 1

De seguida inicia-se os cálculos para o **nível 1**, Figura 1.4.

A primeira fase do **nível 1, 1.a**, inicia-se com o calculo da absorção para os 440 nm, obtido a partir da equação 1.4, o qual depende do coeficiente ν (equação 1.5).

$$a(440) = \exp(-1.8 - 1.4\nu + 0.2\nu^2) \quad 1.4.$$

$$\nu = \ln\left(\frac{r_{rs}(440)}{r_{rs}(555)}\right) \quad 1.5.$$

O valor de absorção (a) para a banda dos 555 nm, por sua vez, é calculado através da equação 1.6. Este valor irá ser utilizado para cálculos na banda dos 490nm.

$$a(555) = 0.0596 + 0.2(a(440)_i - 0.01) \quad 1.6.$$

Gordon e Lee [28] criaram o coeficiente característico do algoritmo ($u(\lambda)$ [29]) que varia com o comprimento de onda específico para águas costeiras e oceânicas.

$$u(\lambda) = \frac{-g0 \pm \sqrt{g0^2 - 4 \times g1r_{rs}(\lambda)}}{2 \times g1} \quad 1.7.$$

Onde, $g0$ assume o valor de 0.0895 e $g1$ o de 0.1247 [29].

O coeficiente de retrodifusão (b_b) para o comprimento de onda 555 nm (equação 1.8) é calculado a partir da soma da retrodifusão realizada pela água, $b_{bw}(\lambda)$ (Tabela 1.2) [28], e da realizada pelas partículas, $b_{bp}(\lambda)$, equação 1.9 [31]. Os valores associados a esta banda são utilizados como base para o cálculo de parâmetros dos restantes comprimentos de onda.

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(555) \left(\frac{555}{\lambda}\right)^\eta \quad 1.8.$$

$$b_{bp}(\lambda = 555) = \frac{a(\lambda)u(\lambda)}{1 - u(\lambda)} - b_{bw}(\lambda) \quad 1.9.$$

Onde η , dependência do comprimento de onda do coeficiente de retrodifusão das partículas, é obtido a partir da equação 1.10:

$$\eta = 2.2 - 1.2 \times \exp\left(-0.9 \times \frac{r_{rs}(440)}{r_{rs}(555)}\right) \quad 1.10.$$

Tabela 1.2: Representação dos valores da retrodifusão da água para os diferentes comprimentos de onda, de acordo com Morel [32].

Comprimento de onda (nm)	b_{bw} (m ⁻¹)
490	0.78E-4
555	0.83E-4
640	0.66E-4

O coeficiente de retrodifusão para a banda dos 440 e 490 nm é calculado através da equação 1.11, onde se observa uma dependência do comprimento de onda 555 nm para ambos os casos.

$$b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(555) \left(\frac{555}{\lambda} \right)^\eta \quad 1.11.$$

A absorção, para os casos anteriores, é obtida através da equação 1.12:

$$a(\lambda) = \frac{(1 - u(\lambda)) \times (b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda))}{u(\lambda)} \quad 1.12.$$

Posteriormente, o algoritmo requer o cálculo da absorção, **nível 1.b**, para os 640 nm. Este inicia-se por calcular a radiação que sai da superfície da água (R_{rs}) (equação 1.13).

$$R_{rs}(640) = 0.01R_{rs}(555) + 1.4R_{rs}(670) - 0.0005 \frac{R_{rs}(670)}{R_{rs}(640)} \quad 1.13.$$

De seguida obtém-se a absorção para o comprimento de onda 640 nm (equação 1.14) através das reflectâncias dos comprimentos de onda 640 e 440 nm.

$$a(640) = 0.31 + 0.07 \left(\frac{r_{rs}(640)}{r_{rs}(440)} \right)^{1.1} \quad 1.14.$$

Nível 1.c

Assim, após calcular a absorção e a retrodifusão para o comprimento de onda dos 490 nm pelas duas fases do algoritmo (**nível 1.a e 1.b**), realizou-se uma combinação linear dos dois resultados, **nível 1.c** (equação 1.15 e 1.16).

$$\hat{a}(490) = \begin{cases} a(490)^{[555]} & a(440)^{[555]} < 0.3 \\ \left(1 - \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} \right) a(490)^{[555]} + \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} a(490)^{[555]} & 0.3 \leq a(440)^{[555]} \leq 0.5 \\ a(490)^{[640]} & a(440)^{[555]} > 0.5 \end{cases} \quad 1.15.$$

$$\widehat{b_{bp}}(490) = \begin{cases} b_{bp}(490)^{[555]} & a(440)^{[555]} < 0.3 \\ \left(1 - \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} \right) b_{bp}(490)^{[555]} + \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} b_{bp}(490)^{[555]} & 0.3 \leq a(440)^{[555]} \leq 0.5 \\ b_{bp}(490)^{[640]} & a(440)^{[555]} > 0.5 \end{cases} \quad 1.16.$$

Nível 2

Doron apresenta diferentes métodos no artigo em estudo para o cálculo da profundidade de *Secchi*, porém, escolheu-se o algoritmo empírico (EMP), já que os restantes eram mais complexos e levavam a um processamento de dados mais aprofundado. Inicia-se assim os cálculos alusivos ao nível 2.

Os valores da reflectância, $R(0^-, \lambda)$, são calculados a partir da equação 1.17, na qual:

- O valor de $Q = 4$ é relativo às condições de iluminação [33];
- O \bar{r} corresponde à reflectância média de *Freshnel* (fluxo radiativo entre a água e ar que provém da coluna de água) e é dado por 0.48 [26];
- O parâmetro \mathfrak{R}_0 depende do coeficiente de retrodifusão ($\rho(\theta', \theta)$), do índice refrativo da água do mar (n) e da refração da interface de *Freshnel* aplicada a toda a irradiação que provém do sol e do céu ($\bar{\rho}(\theta_s)$) e que apresenta o valor de 0.529 [26].

$$R = \frac{4 \times R_{rs}\pi}{\pi \times 0.529 + 4 \times 0.48 \times R_{rs}\pi} \quad 1.17.$$

De acordo com *Doron* (2011) procede-se a um controlo de qualidade do valor de reflectância:

$$\begin{cases} 0.005 < R(490) < 0.22 \\ 0.006 < R(560) < 0.3 \\ 0.22 < \frac{R(560)}{R(490)} < 0.3.5 \end{cases}$$

Outro coeficiente necessário ao algoritmo é o γ_0 , que corresponde ao cálculo do *coupling contrast*, obtido pelo contraste inerente ($C_0 \cong 40$, [23]), que depende das propriedades óticas do disco e da coluna de água, e o contraste mínimo aparente visto pelo olho humano (C_{min}) [23][1]. No entanto o γ_0 pode ser obtido a partir da reflectância do disco de *Secchi*, $R_{SD} \cong 0.82$ [1] e o valor da reflectância do ambiente R_∞ [23], como apresentado na equação 1.18.

$$\gamma_0 = \ln \frac{C_0}{C_{min}} = \ln \frac{\frac{R_{SD}(490) - R_\infty(490)}{R_\infty(490)}}{C_{min}} \quad 1.18.$$

Por fim, calcula-se a profundidade de *Secchi* (Z_{SD}), recorrendo-se aos valores de $R(490)$, $R(560)$, como apresentado na equação 1.19.

$$Z_{SD} = 1.888\gamma_0 \left(\frac{R(0^-, 490)}{R(0^-, 560)} - 0.52 \right) \quad 1.19.$$

1.4.1.2 Kratzer et al (2008)

O segundo algoritmo escolhido foi desenvolvido por *Kratzer* [11], a partir do qual se pode obter os valores de Kd_{490} e a profundidade de *Secchi* para os dados de MERIS FR [34].

Desenvolveram-se inúmeros estudos [9] [35] na base de detecção remota com o objetivo de estimar a concentração de clorofila. A maior parte destes algoritmos encontram-se fundamentados no rácio de cores, tais como o azul e o verde, empiricamente relacionados com a concentração de clorofila.

Verificou-se que a partir destes, é possível eliminar efeitos indesejados, como erros de calibração, apresentando bons resultados na utilização do método de detecção remota.

Kratzer utilizou o Mar Báltico (na zona *Himmerfjärden*) como caso de estudo. Este local é caracterizado por uma estratificação permanente da salinidade com uma camada de superfície salobra, causada pela entrada elevada de água doce dos rios, e numa camada mais profunda por águas mais salgadas do mar do Norte.

A partir dos dados de campo desenvolveram-se algoritmos para o cálculo do Kd_{490} e a profundidade de *Secchi*, Z_{SD} .

$$ratio = \log\left(\frac{r_{rs}(490)}{r_{rs}(620)}\right) \quad 1.20.$$

Assim, calculou-se a profundidade de *Secchi*, segundo o algoritmo de *Kratzer* (equação 1.21):

$$Z_{SD} = \frac{1}{\exp(-1,44 \times ratio - 1,27)} \quad 1.21.$$

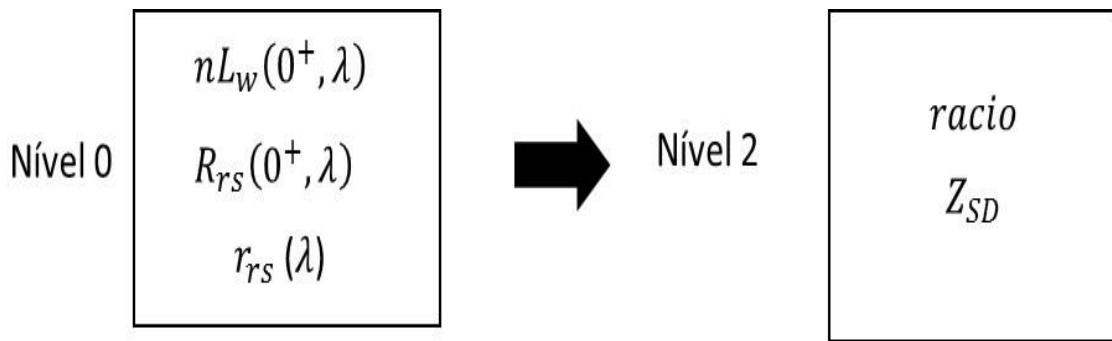


Figura 1.5: Esquema representativo do algoritmo desenvolvido por *Kratzer*.

2. Capítulo – Metodologia dos dados *in situ*

A componente experimental realizada nesta dissertação incluiu colheita de dados *in situ* e a sua análise em laboratório. Esta teve como intuito a recolha dos parâmetros necessários – profundidade de *Secchi* e concentrações de parâmetros que influenciam as propriedades óticas inerentes.

Para a realização desta fase recorreu-se a parcerias com escolas de mergulho¹² e a campanhas, de forma a obter o máximo de medições possíveis. No entanto, é de reforçar, que nas amostragens realizadas pelas escolas de mergulho apenas se obteve a profundidade de *Secchi*. Enquanto que nas campanhas houve a medição da profundidade de *Secchi* e recolha de água.

Os dados *in situ*, após tratados em laboratório, foram utilizados para validar os valores de profundidade de *Secchi* obtidas a partir de algoritmos. A análise da absorção em determinados comprimentos de onda foi um dos processos utilizados para que esta validação fosse feita.

De modo a obter a concentração da matéria particulada e dissolvida em suspensão na coluna de água (clorofila, CDOM e SPM) e a absortância da amostra recolhida foram efetuados diversos tipos de análises laboratoriais. Tais como: concentração de clorofila; matéria particulada em suspensão; absorvância; matéria orgânica dissolvida na água (CDOM- colored dissolved organic matter).



Figura 2.1: Disposição dos locais de amostragem: Vermelho- Peniche e as Berlengas (1 amostragem realizada); Amarelo- Tejo (19 amostragens realizadas); Azul- Sado (10 amostragens realizadas); Cinzento -Zona de Sesimbra (50 amostragens). Imagem retirada a partir do Google Earth

A recolha de amostras de água (Figura 2.1) necessária às medições de concentração foi realizada presencialmente com o auxílio da escola de mergulho Nautilus, do ICNF³, dos Bombeiros de Sacavém e do senhor João Ramajal. Foram feitas breves ações de formação às escolas de mergulho sobre as medições da profundidade de *Secchi*, sendo disponibilizados discos e protocolos de

¹ Escola Haliotis em Peniche e Sesimbra

² Escola Nautilus em Sesimbra

³ Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

procedimento de utilização dos mesmos (Anexo F – Material fornecido às escolas de mergulho). A partir desta parceria foram obtidas medições de profundidade de *Secchi* entre os meses de novembro de 2015 e junho de 2016 (Figura 2.3).

Para a recolha de amostras de água foram realizadas 7 campanhas - 3 no estuário do Tejo, 2 em Sesimbra e 2 no Sado (Figura 2.4) (Anexo E – Relatórios das campanhas) – correspondentes à passagem do satélite no local de estudo.

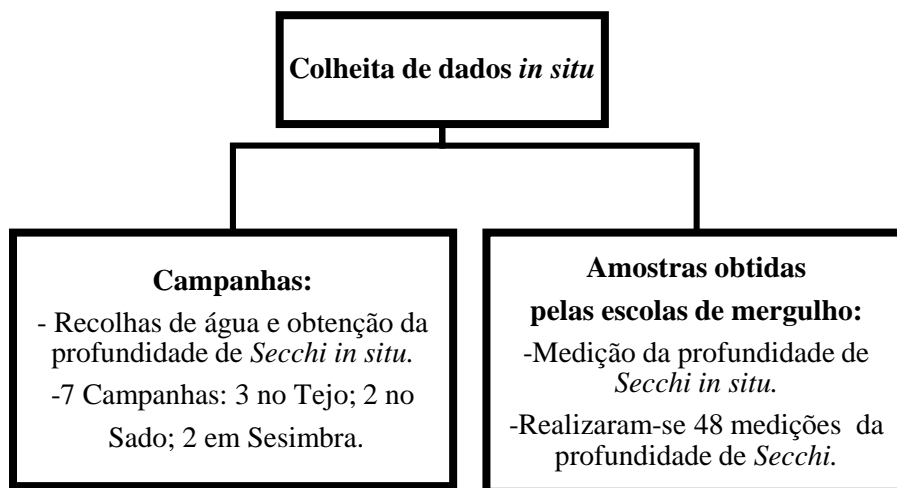


Figura 2.2: Esquema representativo dos processos para a colheita de dados *in situ*.

O Tejo é o rio mais extenso da península Ibérica com uma extensão de 1038 Km, desaguando em Lisboa. O estuário do Tejo é caracterizado por uma zona interior extensa de baixos fundos e alinhado com a direção dominante dos ventos, favorecendo a presença de praias de areias na sua margem sul. Este apresenta zonas de acumulação de sedimentos finos levando à formação de rasos de maré e sapais [36], tem uma elevada densidade populacional em seu redor e diversas atividades estuarinas tal como a apanha da amêijoia.

O estuário do Sado é considerado uma reserva natural devido à fauna e flora que alberga. Este, ao contrário do Tejo, apresenta uma baixa densidade populacional em seu redor, apresentando diferentes fatores antropogénicos a influenciarem as características das águas, tais como a cultura do arroz e a aquacultura.

Sesimbra, ao contrário dos locais referidos anteriormente, é uma zona de orla costeira, conectada diretamente com o oceano Atlântico.

Estes locais foram escolhidos devido às diferenças existentes entre eles ao nível morfológico e dinâmico.

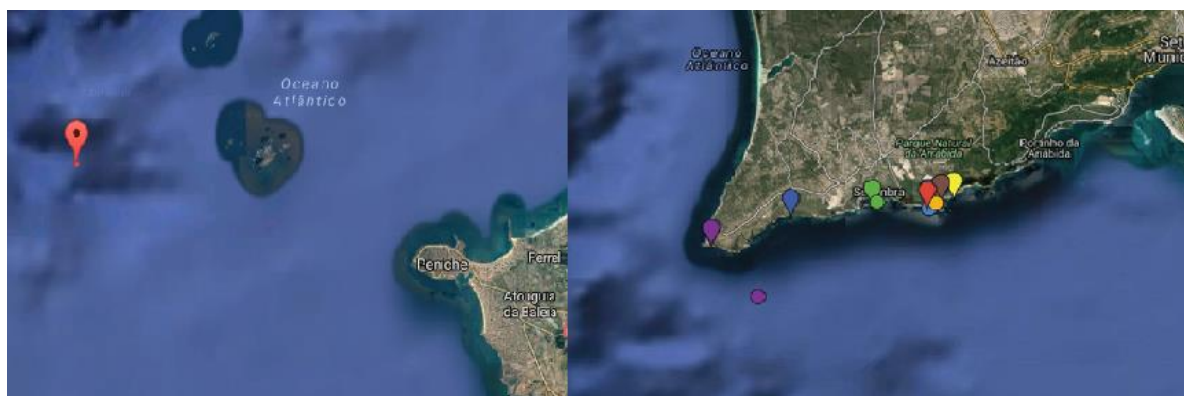


Figura 2.3: Amostragens realizadas pelas escolas de mergulho em Peniche (esquerda) e em Sesimbra (direita)
Imagem retirada a partir do Google Earth.

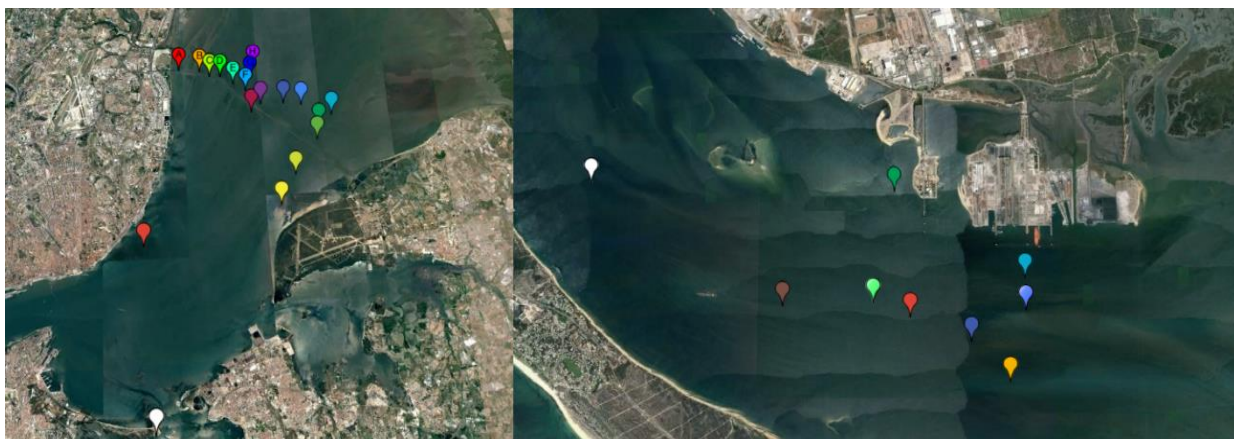


Figura 2.4: Amostragens realizadas no Tejo (esquerda) e no Sado (direita).
Imagem retirada a partir do Google Earth.

Os locais de recolha das amostras foram registados utilizando GPS, em coordenadas minutos decimais (graus e minutos) que posteriormente foram transformadas em coordenadas DMS (graus minutos e segundos).

Há que salientar a importância da resolução espacial dos satélites dado que, quanto maior for a resolução menos distanciadas as amostras necessitam de ser, de forma a não coincidirem com o mesmo *pixel* da imagem. Para um satélite com 30 m de resolução (*Landsat 8*), as recolhas teriam de se distanciar da margem em 30 m e 90m entre si para que as médias dos *pixéis* em torno da zona de amostragem não coincidisse.

As condições meteorológicas são outro fator a ter em conta uma vez que o estado da corrente e a existência de outras atividades em redor podem condicionar as concentrações das propriedades inerentes das águas em estudo. Assim sendo é indispensável a caracterização pormenorizada e registos das condições meteorológicas nos locais de amostragem durante a recolha.

2.1.1 Campanhas

Foi estipulada a quantidade de água que seria recolhida para cada amostra, de forma a realizar três replicados de SPM (500 mL para cada), três de absorvância (250 mL para cada replicado), três de clorofila (1L para cada replicado) e CDOM (100 mL para cada replicado). As amostras foram recolhidas em garrações de 10 L, de forma a colmatar eventuais erros laboratoriais ou perdas de amostra. Todas as campanhas foram previamente preparadas e planeadas.

Como referido acima e apresentado na

Tabela 2.1 realizaram-se 7 campanhas:

- Três no Tejo, realizadas entre a preia-mar e a baixa-mar, nas quais se verificou a existência de correntes acentuadas, e a presença de mariscadores próximos dos locais de amostragem (Figura 2.4);
- Duas no Sado, realizadas entre a baixa-mar e a preia-mar (Figura 2.4);
- Duas em Sesimbra, sendo que a realizada a 14 de abril executou-se entre a baixa-mar e a preia-mar. A de 26 de junho foi entre a preia-mar e a baixa-mar (Figura 2.3).

Tabela 2.1: Amostragens realizadas nas 7 campanhas. Com respetiva localização e hora de recolha.

Amostras	Local	Dia	Hora	Latitude (N)	Longitude (W)
1	Tejo	30/09/2015	10:57	38° 43' 38,4"	9° 2' 33"
2			11:28	38° 44' 20,4"	9° 2' 5,4"
3			12:04	38° 45' 10,2"	9° 1' 24"
4			12:54	38° 45' 29,4"	9° 1' 19,2"
5			12:49	38° 45' 46,2"	9° 0' 55,8"
6			12:59	38° 46' 4,2"	9° 1' 46,2"
7			13:02	38° 46' 8,4"	9° 2' 16,2"
8			13:07	38° 46' 9"	9° 2' 55,2"
9			13:17	38° 45' 58,2"	9° 3' 12"
10			13:41	38° 42' 53,4"	9° 6' 20,4"
1	Tejo	26/01/2016	17:00	38° 38' 53,822"	9° 6' 7,960"
2			09:55	38° 47' 23,4"	9° 5' 13,2"
4			10:35	38° 47' 10,8"	9° 4' 20,4"
5			10:47	38° 47' 8,988"	9° 4' 1,704"
6			10:55	38° 46' 56,4"	9° 3' 40,2"
7			11:07	38° 46' 44,4"	9° 3' 19,2"
8			11:16	38° 47' 3"	9° 3' 10,2"
9			13:17	38° 47' 20,5"	9° 3' 3,636"
2	Sado	20/05/2016	12:23	38° 27' 41,4"	8° 48' 37,2"
3			12:18	38° 27' 31,2"	8° 48' 4,8"
4			11:20	38° 27' 58,2"	8° 47' 36"
6			11:30	38° 27' 14,4"	8° 47' 44,4"
7			12:40	38° 27' 46,2"	8° 49' 45,6"
8			11:08	38° 28' 35,4"	8° 48' 46,2"
1	Sado	15/07/2016	09:27	38° 28' 39"	8° 51' 30"
3			10:01	38° 28' 7,8"	8° 50' 6"
5			10:19	38° 27' 44,4"	8° 47' 36"
7			10:08	38° 27' 47,4"	8° 48' 57,6"
1	Sesimbra	26/06/2016	11:50	38° 26' 14,94"	9° 3' 32,22"
1	Sesimbra	17/04/2016	12:20	38° 26' 17,4"	9° 3' 45"
2			12:50	38° 25' 57,6"	9° 3' 46,8"

2.1.2 Recolha de amostras das Escolas de Mergulho

A partir da parceria realizada com escolas de mergulho foi possível obter medições de profundidades de *Secchi*, com especial concentração na zona de Sesimbra, sendo que, uma foi concretizada na zona de Peniche próxima das Berlengas.

Manufaturaram-se 6 discos de *Secchi* com 30 cm de diâmetro, de cor branca (Figura 2.5). Quatro dos quais foram entregues às escolas de mergulho com requisitos de utilização do instrumento oceanográfico e as suas características específicas, de forma a obter resultados fidedignos.

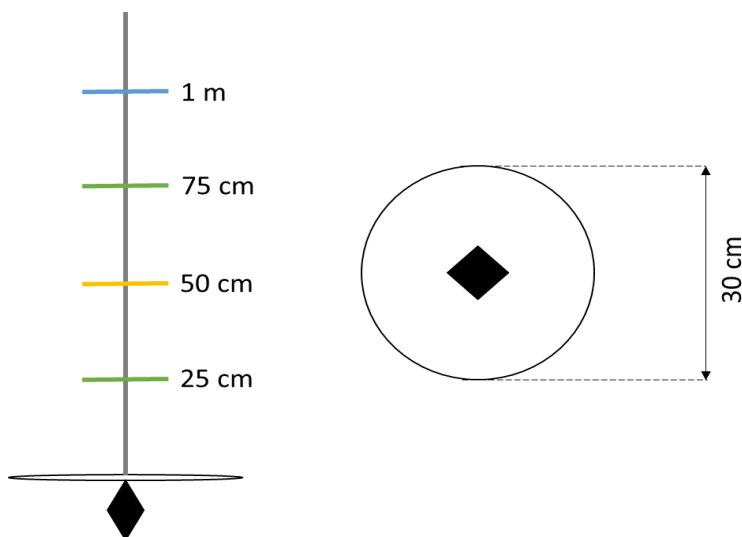


Figura 2.5: Esquema representativo dos discos de *Secchi* usados/criados para a aquisição de profundidades *in situ*, com um cabo de 15m, subdividido em 25 cm

Do total das 48 medições realizadas pelas escolas de mergulho apenas 14 corresponderam aos dias de passagem do satélite naquele local (Anexo H – Medições realizadas, Figura 4.5). Estes 14 valores de profundidade recolhidos funcionaram como dados de validação, averiguando se os algoritmos em estudo eram adequados para os cálculos da profundidade de *Secchi*.

Tabela 2.2: Amostragens que coincidem com a passagem do satélite, utilizadas para a validação das imagens de satélite (Figura 4.5).

Data	Hora	Prof. de <i>Secchi</i> (m)	Local	Latitude (N)	Longitude (W)
22/dez./15	12:50:00	12,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
20/jan./16	14:45:00	12,5	Boia Baia	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
21/fev./16	11:00:00	4	Peniche	39° 24'47,34"	9°38'20,88"
21/fev./16	12:45:00	10,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
24/mar./16	12:10:00	>15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
25/abr./16	13:05:00	15,0	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"
30/ abr./16	12:20:00	11	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"

2.1.3 Métodos laboratoriais

Os processos laboratoriais utilizados baseiam-se nos relatórios de REVAMP [37] e no artigo de Lorenzen [38]. Em anexo (Anexo A – Protocolo da análise da matéria em suspensão, Anexo B – protocolo de processamento de matéria orgânica em suspensão, Anexo C – Protocolo de processamento do Fitoplâncton (concentração de clorofila_a e de feopigmentos ($\mu\text{g.L}^{-1}$)), Anexo D – Protocolo de Absorção, medição da absorvância no espectrofotômetro) está descrita a linha de procedimentos aplicados a todas as amostras, para que os métodos fossem os mais semelhantes possíveis.

A partir desta análise laboratorial pretendeu-se calcular a concentração das propriedades óticas inerentes das águas as quais, como foi referido acima, influenciaram a profundidade da camada fótica e o coeficiente de atenuação da coluna de água.

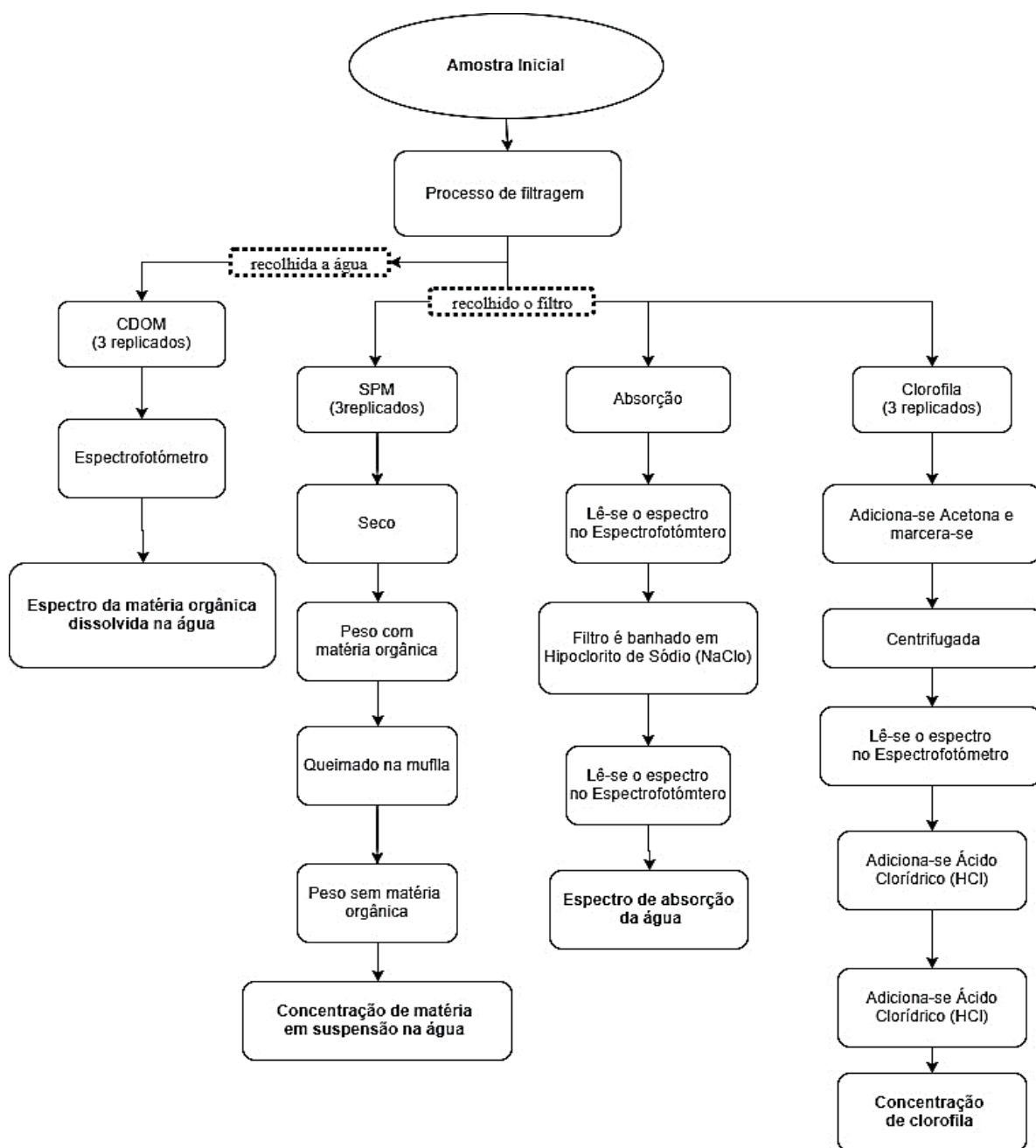


Figura 2.6: Esquema das análises laboratoriais realizadas a cada amostra de água.

Realizou-se uma pré-preparação do material laboratorial requerido para cada campanha. Esta pré-preparação de material incluí preparação de filtros, nomeadamente SPM que devem de ser preparados dias antes da saída.

Estes processos laboratoriais têm como fim a obtenção das concentrações das propriedades bio-óticas inerentes presentes nas águas. Estas serviram de base para a validação dos algoritmos usados nesta dissertação.

Os materiais usados para a realização dos quatro processos distintos podem ser encontrados na Figura 2.7.

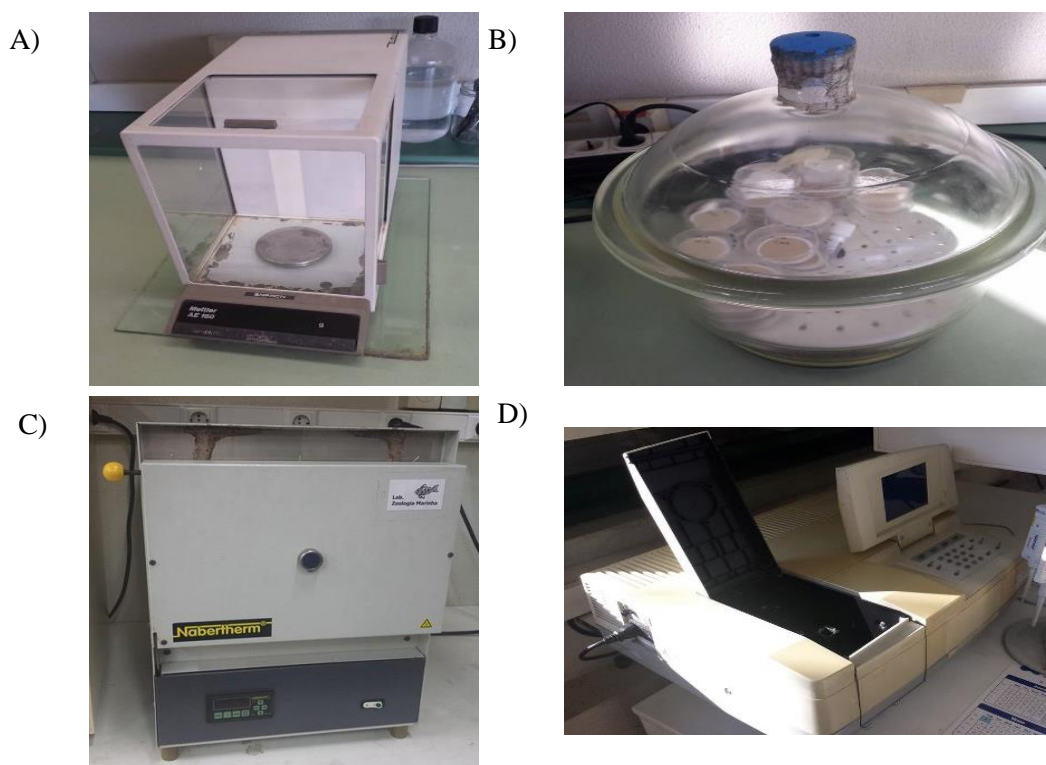


Figura 2.7: Material usado para o processamento das amostragens provenientes das campanhas. A) Balança de precisão, B) Excicador, C) Mufla; D) Espectrofotómetro.

SPM- Matéria particulada em suspensão

Para o tratamento e análise das amostras de SPM filtrou-se 500 ml de água recolhida das campanhas. Os filtros de SPM foram guardados num forno a 75°C para secagem

Durante os processos laboratoriais foram medidos três pesos distintos, referentes a diferentes fases do processo. O peso inicial do filtro (sem a amostra), $P_{\text{não filtrado}}$, o peso do filtro com a amostra já filtrada, $P_{\text{filtrado pré mufla}}$, e o peso do filtro com a amostra filtrada após a queima da matéria orgânica, $P_{\text{filtrado pós mufla}}$. A partir dos pesos registados foi calculada a concentração de SPM.

Os cálculos para a determinação da matéria em suspensão foram realizados a partir da diferença de pesagem antes ($P_{\text{filtrado pré mufla}}$) e após ($P_{\text{não filtrado}}$) o processo de filtragem, descritas na equação 2.1. Após a primeira pesagem, o filtro é colocado na mufla para a queima da matéria orgânica. E é novamente pesado, $P_{\text{filtrado pós mufla}}$, obtendo a massa da matéria inorgânica, descrita na equação 2.2 (Anexo A – Protocolo da análise da matéria em suspensão).

$$SPM_{com\ matéria\ orgânica} (g.m^{-3}) = P_{filtrado\ pré\ mufla} - P_{não\ filtrado} \quad 2.1.$$

$$SPM_{sem\ matéria\ orgânica} (g.m^{-3}) = P_{filtrado\ pós\ mufla} - P_{não\ filtrado} \quad 2.2.$$

CDOM- Matéria orgânica dissolvida

Para o tratamento e análise das amostras de CDOM filtrou-se 250-500 ml de água. As amostras de água filtrada de CDOM contêm matéria orgânica dissolvida. Para que as amostras permanecessem viáveis tiveram de ser tratadas no próprio dia ou num intervalo de 24 h após a recolha.

O espectro de absorção do CDOM foi adquirido a partir do espectrofotómetro. O coeficiente de absorção ($a_{ys}(\lambda)$) foi calculado a partir da equação 2.3 no comprimento de onda de 440 nm, obtido a partir do espectro. No qual:

- L corresponde ao passo ótico da “cuvette”;
- $A_{ys}(\lambda)$ corresponde à absorção obtida pela amostra aos 440 nm (Anexo B – protocolo de processamento de matéria orgânica em suspensão).

$$a_{ys}(\lambda) = 2.303 \times \frac{A_{ys}(\lambda)}{L} \quad 2.3.$$

Clorofila_a e Feofitina

Para o tratamento e análise das amostras filtrou-se 1000 ml para obter a concentração de clorofila_a. Os filtros de clorofila_a apresentam matéria orgânica, sendo assim tiveram de ser guardados numa arca refrigeradora à temperatura de -80°C de forma a preservar e evitar a sua degradação.

Os cálculos para a concentração de clorofila_a e feofitina requerem as absorções dos comprimentos de onda, 664 e 750 nm, medidos através do espectrofotómetro.

Os cálculos das concentrações (equações 2.4 e 2.5) necessitam:

- Do fator que estabelece a concentração inicial em clorofila_a a partir da redução da absorvância ($K=2,25$);
- Da absorvância da amostra a 664 nm e 750 nm com (A_{664} A_{750}) e sem ácido ($A_{664\ ácido}$ – $A_{750\ ácido}$);
- Do volume de acetona usado (V);
- Do passo ótico da cuvette (L);
- Do inverso do coeficiente de extinção para a clorofila a em acetona (A);
- E R , que é valor máximo da razão A_{664}/A_{664a} na ausência de feopigmentos dado por 1,8 (Lorenzen 1967, Anexo C – Protocolo de processamento do Fitoplâncton (concentração de clorofila_a e de feopigmentos ($\mu g.L^{-1}$))).

$$Chl\ a(\mu gL^{-1}) = \frac{A \times K \times [(A_{664} - A_{750}) - (A_{664\ ácido} - A_{750\ ácido})] \times v}{V \times L} \quad 2.4.$$

$$Feopigmentos (\mu gL) = \frac{A \times K \times [R \times (A_{664\ ácido} - A_{750\ ácido}) - (A_{664} - A_{750})] \times v}{V \times L} \quad 2.5.$$

Absorção

Para a obtenção do espectro de absorção filtrou-se 500 ml de amostra.

O espectro de absorção é obtido através da leitura no espectrofotómetro sendo necessário realizar-se um controlo de qualidade. Como é ilustrado na Figura 2.8 obtiveram-se dois espectros para o mesmo filtro, um com a matéria orgânica presente (Figura 2.8 linha laranja), e outro após o filtro ter sido imerso em lixívia (Figura 2.8 linha amarela) de forma a eliminar toda a matéria orgânica. Caso se observasse que a amostra banhada com a lixívia era superior à amostra original, esta era descartada, uma vez que não é possível obter um espectro superior após a extração da matéria orgânica.

Foram criados filtros de água MiliQ com e sem lixívia, que serviram como base para a calibração do espectrofotómetro (Figura 2.8 linha azul e cinzenta), estes foram denominados de brancos.

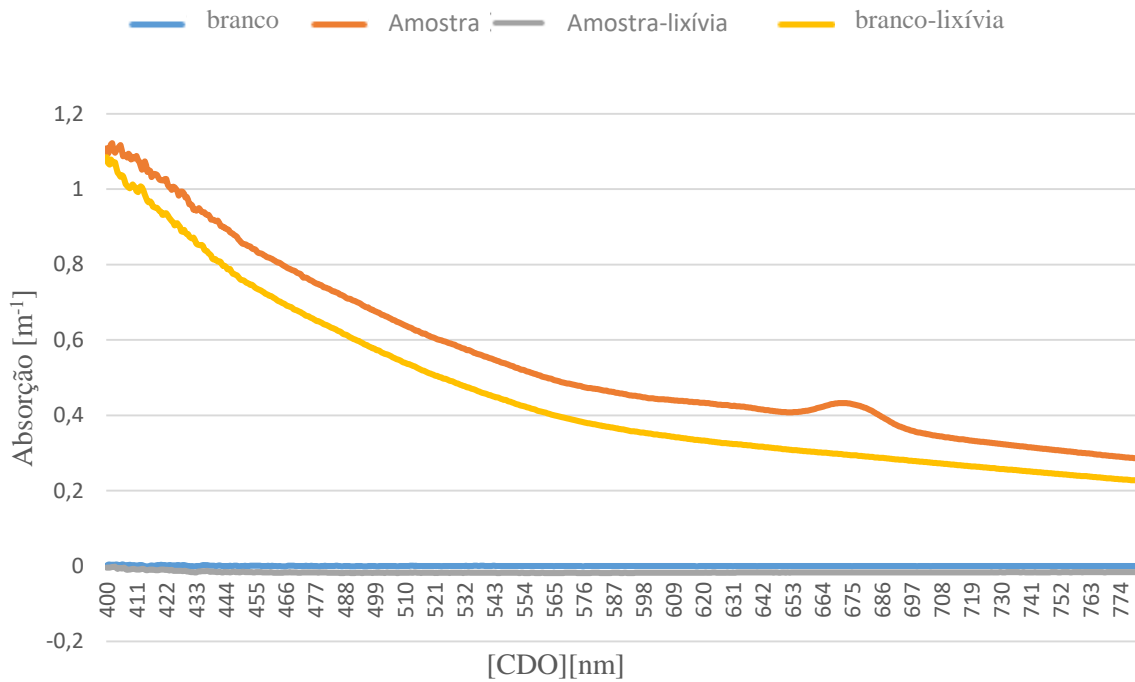


Figura 2.8: Espectros de absorção da amostra 2 de 30/09/2016 Tejo. Encontra-se representado os espectros de amostra original (amostra), da amostra com lixívia (amostra-lixívia e dos brancos com lixívia (branco-lixívia) e sem lixívia (branco).

No primeiro passo realiza-se a média entre os comprimentos de onda de 730 a 750 nm para cada uma das amostras, este valor é posteriormente subtraído ao valor de absorção de cada comprimento de onda Cx , equação 2.6. O mesmo é realizado com os “Branco”. Esta equação e a equação anterior são igualmente aplicadas para as amostras ($C_{Anull_{NaClO}}$) e “Branco” ($B_{Anull_{NaClO}}$) com lixívia.

De seguida subtrai-se os valores dos “Branco” (B_{Anull}) ao das amostras (C_{Anull} , equação 2.7). O mesmo é aplicado as amostras ($C_{Anull_{NaClO}}$) e “Branco” ($B_{Anull_{NaClO}}$) com lixívia.

$$C_{Anull} = Cx - \frac{\sum_{730:750} Cx}{750 - 730} \quad 2.6.$$

$$C_{Anull_{blk_{corr}}} = C_{Anull} - B_{Anull} \quad 2.7.$$

Aos valores de absorção realiza-se o $B_{\text{correction}}$ (equação 2.8 e 2.9) realizado por *Stramski* e *Babin* [39] [37][40], é calculado a partir dos valores obtidos a cada comprimento de onda ($C_{\text{Anull}_{\text{blk}_{\text{corr}}}}$), pelo volume filtrado (V) e a área do filtro (A).

$$B_{\text{corr}} = 2.303 \times \frac{C_{\text{Anull}_{\text{blk}_{\text{corr}}}}}{2 \times \frac{V}{A}} \quad 2.8.$$

$$B_{\text{NaClO}_{\text{corr}}} = 2.303 \times \frac{C_{\text{NaClO}_{\text{Anull}_{\text{blk}_{\text{corr}}}}}}{2 \times \frac{V}{A}} \quad 2.9.$$

Após a aplicação do $B_{\text{correction}}$ determinou-se a diferença entre a amostra original e a amostra com lixívia (equação 2.10), dividindo-se pela respetiva média de cada amostra de maneira a obter os espectros tratados das amostras (Anexo D – Protocolo de Absorção, medição da absorvância no espectrofotómetro).

$$C_{\text{alfa}} = B_{\text{corr}} - B_{\text{NaClO}_{\text{corr}}} \quad 2.10.$$

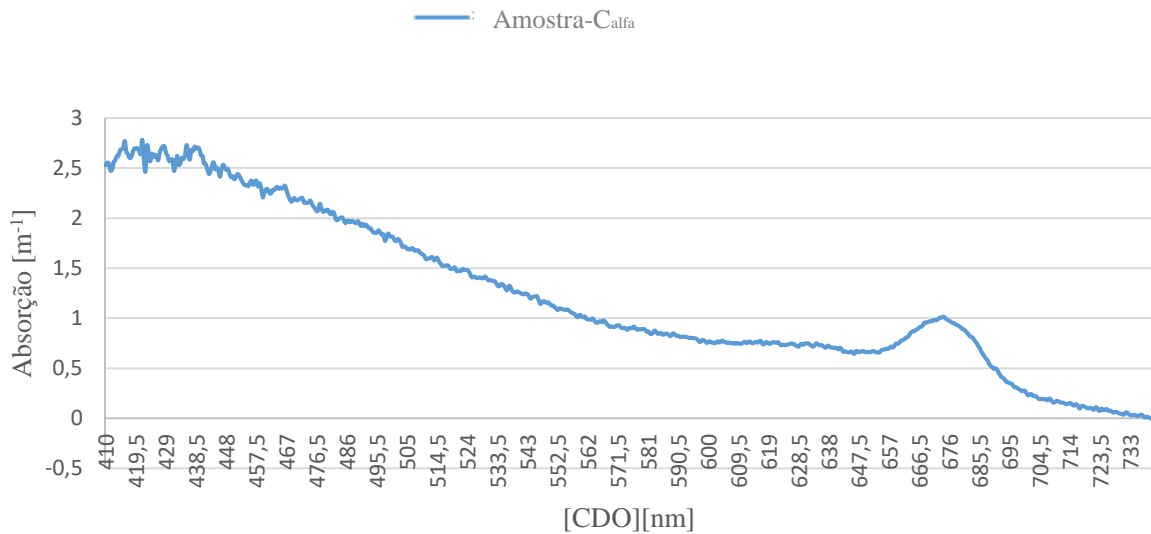


Figura 2.9: Espectro de absorção da amostra obtido a partir dos tratamentos do $B_{\text{correction}}$.

3. Capítulo – Metodologia das imagens de satélite

Os dados de detecção remota utilizados, pertencem a 3 satélites diferentes: o *Landsat 7* e *Landsat 8* da *NASA* (*National Aeronautics and Space Administration* [41]) e o *Sentinel-2* do programa *Copernicus* da EU (desenvolvido e operado pela Agência Espacial Europeia [34]).

Estes satélites permitem a obtenção de imagens de média a alta resolução, em vários comprimentos de ondas que, através de algoritmos, permitem o cálculo das propriedades inerentes das águas.

A missão *Sentinel 2* é caracterizada por ser uma constelação de satélites com órbita polar (*Sentinel 2A* e *2B*, lançado a 7 de março de 2017). Estes fornecem uma cobertura global realizada a cada 10 dias com um satélite, e a cada 5 com dois, usando para isso um campo de visão (a cada aquisição) de 290 km. Estes satélites possuem um sensor *MSI* (*Multispectral Imager*), que possibilita a obtenção de imagens óticas de média-alta resolução, medindo a radiação em 13 bandas espectrais (Tabela 3.1) e cobrindo a zona do visível até ao infravermelho espectral. A sua resolução depende da banda, tendo uma resolução de 10m no azul (490nm), verde (560nm), vermelho (665nm) e infravermelho próximo (NIR; 842 nm), 60 m no Costal/Aerossol (443 nm) [42].

Tabela 3.1: Representação das bandas espectrais do *Sentinel 2*, com os respetivos comprimentos de onda e a indicação da presença de uma imagem de qualidade (Gatti et al. 2015, *Sentinel-2 Products and Specification Document*).

Comprimento de onda	<i>Sentinel 2</i>	Resolução (m)
443-490 nm (Costal/Aerossol)	Banda1	60
490-559 nm (Azul)	Banda2	10
560-664 nm (Verde)	Banda3	10
665-704 nm (Vermelho)	Banda4	10
705-739 nm (Red Edge1)	Banda5	20
740-782 nm (Red Edge2)	Banda6	20
783-843nm (Red Edge3)	Banda7	20
842-865 nm (Red Edge4)	Banda8a	20
842-939 nm (NIR)	Banda8	10
940-1374 nm (Vapor de água)	Banda9	60
1375-1609 nm (Cirrus)	Banda10	60
1610-2189 nm (SWIR1)	Banda11	20
2190 nm (SWIR2)	Banda12	20
BQA (Imagem de qualidade)	X	

Os *Landsat* são satélites que fornecem informação importante para diversos campos, tais como educação, ciência, entre outros. Estes satélites fornecem dados multiespectrais de resolução moderada (30 m) da superfície da Terra, detendo o recorde de observações da superfície da terra através do espaço. *Landsat 7* tem como objetivo obter imagens de alta qualidade da gama do visível e do infravermelho próximo, das zonas costeiras e terrestres. Este realiza uma cobertura global a cada 16 dias [44]. Este contém o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) é composto por 8 bandas, mas desde 2003 apresenta limitações na leitura, apresenta um erro no SLC (Scan Line Corrector).

O *Landsat 8* pertence a uma parceria entre a NASA e USGS (*U.S. Geological Survey*), fornecendo imagens de qualidade na gama do visível e do infravermelho, da cobertura terrestres e das zonas costeiras da Terra. Este apresenta uma órbita polar e sincronizada com o sol, o qual realiza uma cobertura global a cada 16 dias, e a sua faixa de varrimento espacial chega aos 750 Km. Este contém o sensor OLI (*Operation Land Imager* [44]) que recolhe imagens de 9 bandas (Tabela 3.2) espectrais [45].

Tabela 3.2: Representação das bandas espectrais de cada um dos satélites, com os respetivos comprimentos de onda e a indicação da presença de uma imagem de qualidade [44] [45].

Comprimento de onda	<i>Landsat 7</i>	<i>Landsat 8</i>
Costal/Aerosol		Banda1 [435- 451 nm]
Azul	Banda1 [441- 510 nm]	Banda2 [452- 512 nm]
Verde	Banda2 [519- 601 nm]	Banda3 [533-590 nm]
Vermelho	Banda3 [631- 692 nm]	Banda4 [636-673 nm]
NIR	Banda4 [772- 898 nm]	Banda5 [851-879 nm]
BQA (Imagem de qualidade)	X	✓

3.1 Processamento de imagens

O processamento dos dados realizou-se através dos softwares *Qgis*, *Matlab* e SNAP (Sentinel-2 Toolbox). Recorreu-se à utilização da ferramenta *Matlab*, uma vez que esta trata os dados de uma forma mais eficiente. Os algoritmos aplicados sobre as imagens de satélite permitem a obtenção de uma aproximação da profundidade de *Secchi*.

3.1.1 *ExtractMask* (Criação da máscara Terra/nuvens)

O tratamento das imagens foi realizado em duas fases, criaram-se dois *scripts* em *Matlab*. Um inicial, denominado de *ExtractMask*, no qual se obtém uma máscara que retira as nuvens e a terra e aplica os cálculos da radiância e reflectância. E um segundo denominado de *ProcessAlgorithm* no qual, através dos algoritmos acima descritos, é calculada a profundidade de *Secchi*.

Landsat 7/8

As imagens de *Landsat* 7,8 foram obtidas a partir do *site* USGS [41], sendo possível escolher a imagem que se pretende e “desempacotar” os dados. Realizou-se uma pré-visualização das imagens de forma a observar se a imagem se encontrava coberta com nuvens, se a cobertura fosse muito elevada essa imagem era logo descartada.

Recorreu-se à criação de uma função em Matlab, denominada de *ExtractMask_xxxxx*, a qual cria uma “máscara” para cada uma das imagens e fornece os valores de reflectância e radiância para cada uma. Esta, no entanto, varia de acordo com a origem da imagem (*Landsat* 7/8).

Tabela 3.3: Código do nome das imagens de *Landsat*

L	<i>Landsat</i>
X	Sensor (C=OLI/TIRS combinado)
C	Satélite (<i>Landsat</i> 8)
PPP	Localização da órbita do satélite em relação á referencia global
RRR	Localização da órbita do satélite em referência à linha WRS-2
YYYY	Ano
DDD	Dia juliano do ano
GSI	Identificação da estação terrestre
VV	Versão do arquivo
LXCPPRRRRYYYYDDDGSIVV = LC82040332015273LGN00	

No caso do *Landsat* 7/8 o primeiro passo foi criar pastas para guardar as imagens com os valores de reflectância e de radiância, sendo agrupadas por anos e dias julianos (Figura 3.1).

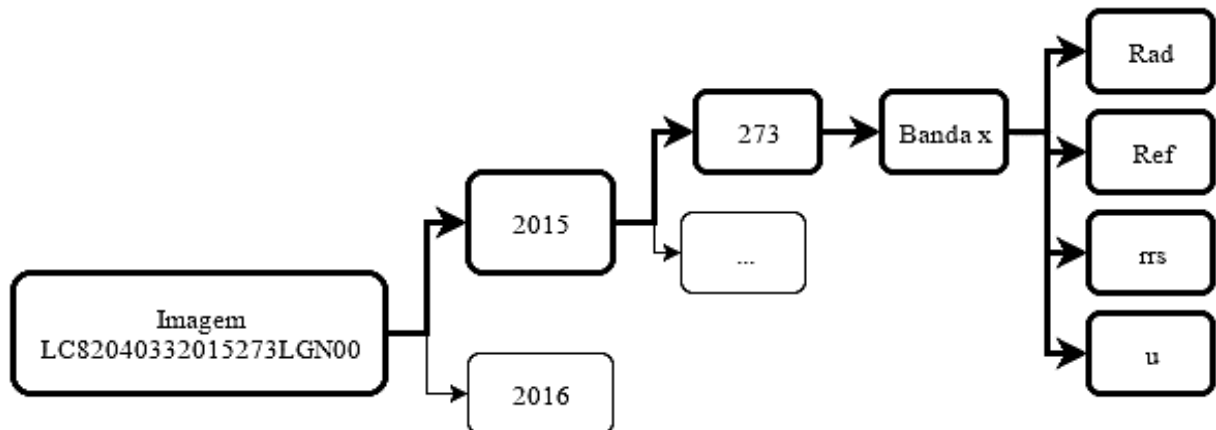


Figura 3.1: Representação esquemático do processo do programa *ExtractMask_XXXXX* (para o caso apresentado *ExtractMask_15273*), no qual há a criação de pastas para guardar as imagens com os valores de radiância e de reflectância já com a máscara aplicada.

Para o *Landsat* 8 a *ExtractMask_xxxxx* recorreu à imagem qualidade (BQA, Tabela 3.2) e à banda do NIR (infravermelho próximo, Banda 5), fornecida pelo pacote da *Landsat* 8. Como o pacote de *Landsat* 7 não fornece imagens de qualidade, recorreu-se apenas ao NIR (Banda 4 para o *Landsat* 7) para a realização da imagem de qualidade.

Pixel Value	Cloud	Cirrus	Snow/Ice	Veg	Water	Terrain Occlusion	Dropped Frame	Fill
61440	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No
56320	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No
53248	Yes	No	No	No	No	No	No	No
48128	No	Yes	Yes	No	No	No	No	No
45056	No	Yes	No	No	No	No	No	No
39936	Maybe	No	Yes	No	No	No	No	No
36896	Maybe	No	No	No	Maybe	No	No	No
36864	Maybe	No	No	No	No	No	No	No
31744	No	Yes	Yes	No	No	No	No	No
28672	No	Yes	No	No	No	No	No	No
23552	No	No	Yes	No	No	No	No	No
20516	No	No	No	No	Maybe	Yes	No	No
20512	No	No	No	No	Maybe	No	No	No
20482	No	No	No	No	No	No	Yes	No
20480	No	No	No	No	No	No	No	No
1	Not Determined	Not Determined	Not Determined	Not Determined	Not Determined	No	No	Yes

Figura 3.2: Tabela retirada da do Landsat 8 com os valores que correspondem as características físicas de cada pixel [45].

A imagem de qualidade (Figura 3.2) é um código de binários e foi necessário compreender o código binário referente a cada *pixel*, o qual detém a informação referente à possível existência de nuvens, vegetação, gelo, água e sobre as características da mesma.

Considerou-se que cada *pixel* correspondia a um valor binário já transformado em decimal. A partir de uma análise da Figura 3.2 [45], é possível observar-se que apenas se pretendia obter os valores correspondentes à água, que por sua vez foram 20516 e 20512. O valor 36896 não foi considerado pois também identifica nuvens.

A água do mar apresenta um espectro de absorção abaixo dos 250 nm e acima dos 700 nm, o qual limita o intervalo ótico de interesse para os estudos oceanográficos (entre o ultravioleta próximo e o infravermelho próximo), [46]. O intervalo ótico facilita a criação de uma máscara de água a partir do comprimento de onda que corresponde ao infravermelho próximo (NIR).

O NIR permite observar a diferença entre terra, água e nuvens. Como os valores de NIR variam de imagem para imagem, foi realizada uma análise visual entre zonas que já estão bem identificadas como terra, água e nuvens (Figura 3.3). Uma das desvantagens é não funcionar bem para zonas de sombra criadas pelas nuvens.

Criaram-se duas condições distintas para as imagens obtidas de cada satélite:

- No caso do *Landsat 7* apenas se aplica uma condição, caso os valores do NIR sejam superiores a x (valor que varia de acordo com a imagem que se está a utilizar) o ciclo substitui os valores por NaN;
- No caso do *Landsat 8* aplicam-se duas condições:
 - Quando os valores do NIR são superiores a x o ciclo substitui os valores por NaN;
 - No caso da imagem BQA (imagem de qualidade do *Landsat 8*) aplica-se uma condição caso os pixels apresentem valores diferentes dos estipulados (20516 e 20512), estes são transformados em NaN.

No final multiplica-se os dados destas duas condições e obtém-se a máscara final.

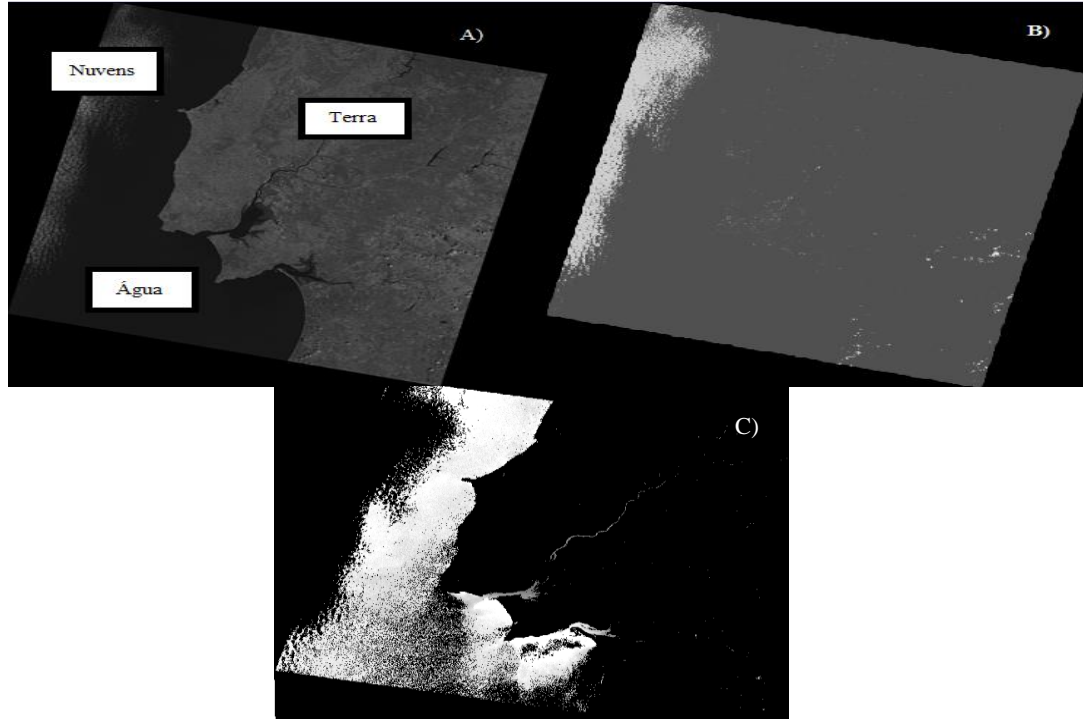


Figura 3.3: Imagem obtida a partir do "pacote" LC82040332016116LGN00 do Landsat8 do ano 2016 dia juliano 116. A) corresponde à Banda 5 do NIR. B) corresponde à imagem BQA (retirada de USGS). C). Mascara final.

Procedeu-se aos cálculos de radiância e de reflectância espectral. Para a realização dos cálculos seguiu-se o *handbook* da *Landsat* [44], [45]. Os cálculos de reflectância e de radiância espectral socorreram-se de um ficheiro de *metadata* (MTL), o qual dá informação sobre as características dos dados adquiridos e das bandas espectrais. O cálculo da radiância espectral (L_λ , W/(m².sr.μm)), equação 3.1, requer:

- O fator escalar multiplicativo de cada banda da radiância (M_L , denominado de *RADIANCE_MULT_BAND_x*);
- Valor de cada *pixel* (Q_{cal});
- Fator escalar aditivo da radiância (A_L , *RADIANCE_ADD_BAND_x*).

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad 3.1.$$

A reflectância espectral do topo da atmosfera (sem unidades, $\rho\lambda'$) é dada através de (equação 3.2):

- Do fator escalar multiplicativo de cada banda da reflectância ($\rho\lambda'$, denominado de *REFLECTANCE_MULT_BAND_x*);
- Valor de cada *pixel* (Q_{cal});
- Fator escalar aditivo da reflectância (A_ρ , *REFLECTANCE_ADD_BAND_x*);

$$\rho\lambda' = M_\rho \times Q_{cal} + A_\rho \quad 3.2.$$

De seguida procede-se à correção do ângulo de elevação solar (θ , *SUN_ELEVATION*), equação 3.3.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta)} \quad 3.3.$$

A cada uma das imagens obtidas aplicou-se a máscara.

Para fazer com que o programa ficasse mais leve e rápido calcularam-se fatores inerentes ao algoritmo de *Doron*, a cada uma das bandas, tais como, a reflectância que sai da superfície da água (r_{ss} , equação 1.3 Capítulo 1), equação 3.4 , e coeficiente característico do algoritmo ($u(\lambda)$, equação 1.7 de Capítulo 1), equação 3.5, que varia de acordo com as bandas.

$$r_{rs}(0^-, \lambda) = \frac{R_{rs}(0^+, \lambda)}{0.52 + 1.7R_{rs}(0^+, \lambda)} \quad 3.4.$$

$$u(\lambda) = \frac{-0.00895 \pm \sqrt{0.00895^2 - 4 \times 0.1247r_{rs}(\lambda)}}{2 \times 0.1247} \quad 3.5.$$

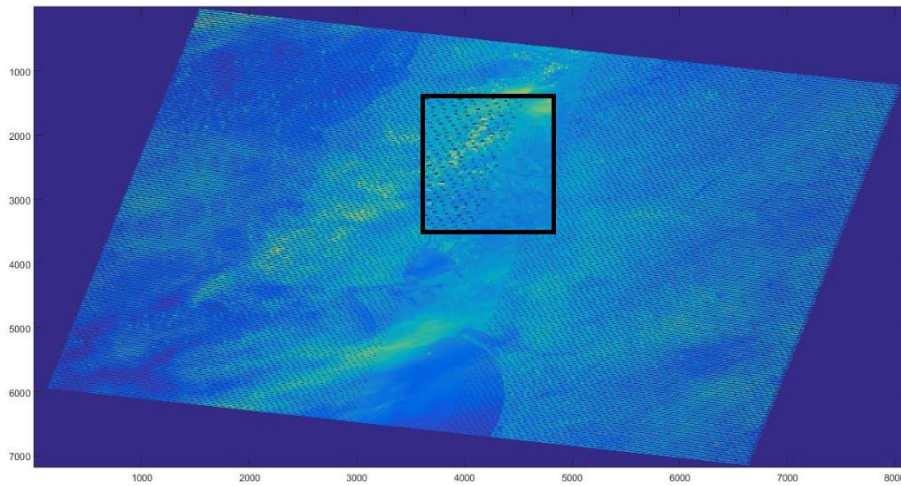


Figura 3.4: Imagem retirada a partir do programa MATLAB da Banda 5 (NIR) do pacote de LE72040332015329ASN00 do Landsat 7.

As imagens apresentam zonas onde se verifica a ausência de valores devido ao erro do SLC (representadas na Figura 3.4), estas zonas vão fazendo com que ao longo do programa se verifique a existência de *outliers* que afetam não só o tratamento inicial das imagens mas também os cálculos realizados. Com o objetivo de solucionar este problema recorreu-se à função de quartis (de 99% e 1%) do Matlab para retirar esses valores. Este passo foi essencial, pois estas imagens apresentam perturbações devido a uma falha existente no instrumento a bordo do satélite (Figura 3.4).

Sentinel 2

As imagens de *Sentinel 2* foram obtidas a partir do *site* do *Copernicus Data hub* (da EU mas mantido pela ESA), no qual é possível extrair o pacote de imagens que se pretende analisar. Como o código das imagens de Sentinel era muito longo alterou-se o código das imagens (Tabela 3.4).

Tabela 3.4: Código adotado das imagens de Sentinel 2.

SX	Sentinel 2
YYYY	Ano
DD	Dia
MM	Mês
SX_YYYYDDMM = S2_20161302	

Tal como nas imagens de *Landsat*, foi essencial realizar-se pré-visualização das imagens com o objetivo de eliminar as que se encontravam com uma elevada cobertura de nuvens.

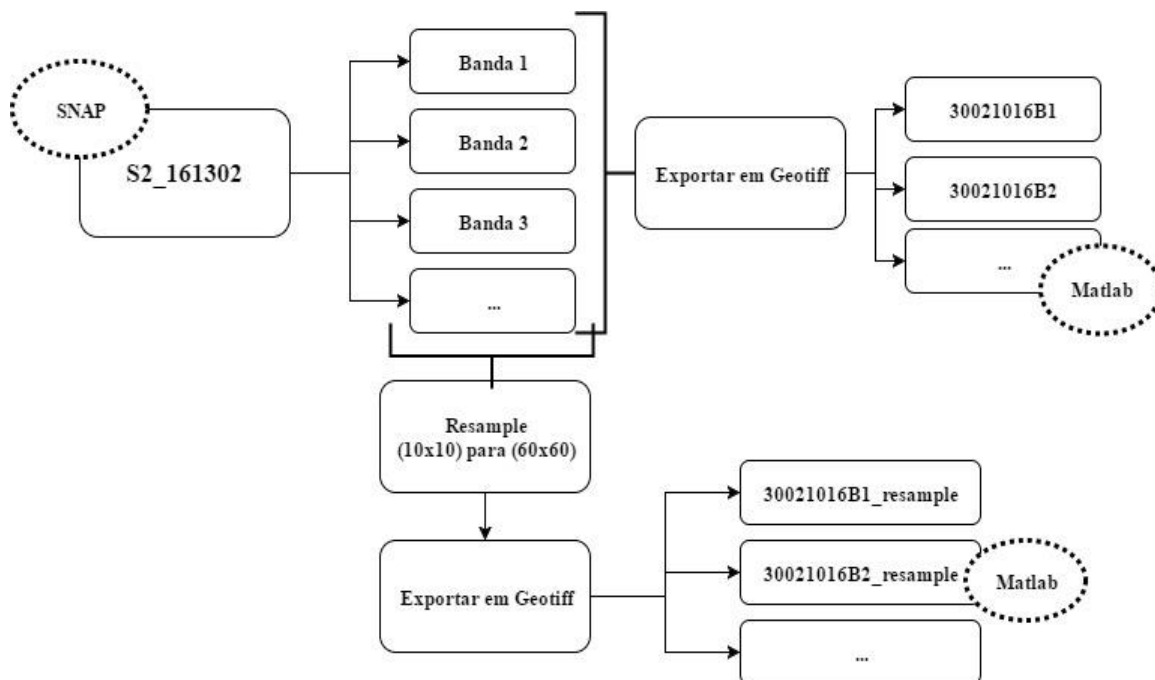


Figura 3.5: Representação esquemática do processo do programa SNAP e os seus resultados. Neste processo transforma-se as imagens de Sentinel 2 em Geotiff, e realiza-se o resample das mesmas.

O processamento das imagens *Sentinel 2* foi realizado no programa SNAP facultado pela ESA *Application Platform* (SNAP) é uma “caixa de ferramentas” do Sentinel desenvolvido pela *Brockmann Consult* e por *Array Systems Computing* [48]. Este programa permite a criação de uma máscara para terra e nuvens, no entanto os resultados obtidos não apresentam valores coerentes e diferentes do esperado, não sendo utilizado para a obtenção da máscara. Para a criação da máscara recorreu-se à banda do NIR. Esta é uma máscara difícil de aplicar uma vez que não cobre as zonas de sombra criadas pelas nuvens. Verificou-se que o uso desta banda não afetou os resultados finais uma vez que as zonas afetadas não se encontravam próximas dos locais de medição.

Tal como as imagens de *Landsat*, as de *Sentinel* não vem corrigidas atmosféricamente e não foi possível proceder-se à sua correção. O programa SNAP o *sen2cor* (programa que realiza a correção atmosférica) [49] não se encontrava a funcionar corretamente acando por não se aplicar a correção atmosférica a nenhuma das imagens, tanto *Landsat* como *Sentinel*.

Para o processamento em *Matlab* das imagens foi necessário proceder-se à transformação do seu formato de *jp2* para *tiff* através do programa SNAP. Socorreu-se ao mesmo para realizar o *resample* das imagens, este processo transforma o tamanho dos píxeis de cada imagem (neste caso uma resolução de 10 m para 60 m), já que as bandas apresentavam resoluções distintas para certos cálculos. Como é o caso das absorções no qual a Banda 1 apresentava uma resolução de 60 m enquanto que a Banda 3 apresentava uma resolução de 10 m, Tabela 3.1.

Utilizou-se a função em *Matlab* *ExtractMask_xxxxx* para criar uma “máscara” com o objetivo de adquirir os valores de reflectância (Figura 3.6) do topo da atmosfera cada uma das imagens de *Sentinel 2*. Para a sua obtenção é necessário dividir a matriz por 10000 já que as imagens já se encontram com os valores de reflectância multiplicados por 10000.

O primeiro passo foi criar pastas para guardar as imagens com os valores de reflectância, sendo agrupadas por anos e dias/meses.

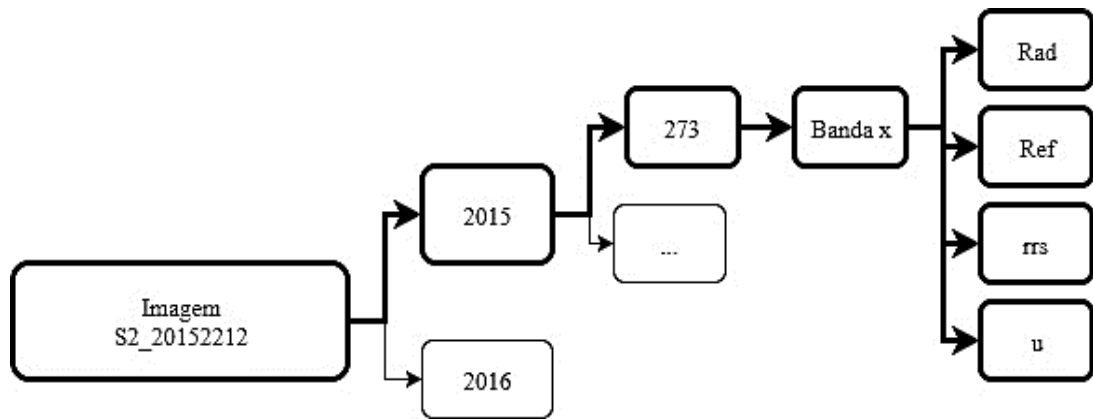


Figura 3.6: Representação esquemática do processo do programa *ExtractMask_XXXXX* (para o caso apresentado *ExtractMask_152212*), no qual há a criação de pastas para guardar as imagens com os valores de radiância e de reflectância já com a máscara aplicada.

Realizaram-se cálculos referentes ao algoritmo de *Doron* [1], a cada uma das bandas, tais como, a reflectância que sai da superfície da água (r_{ss}), equação 3.4, e $u(\lambda)$, equação 3.5, que varia de acordo com as banda.

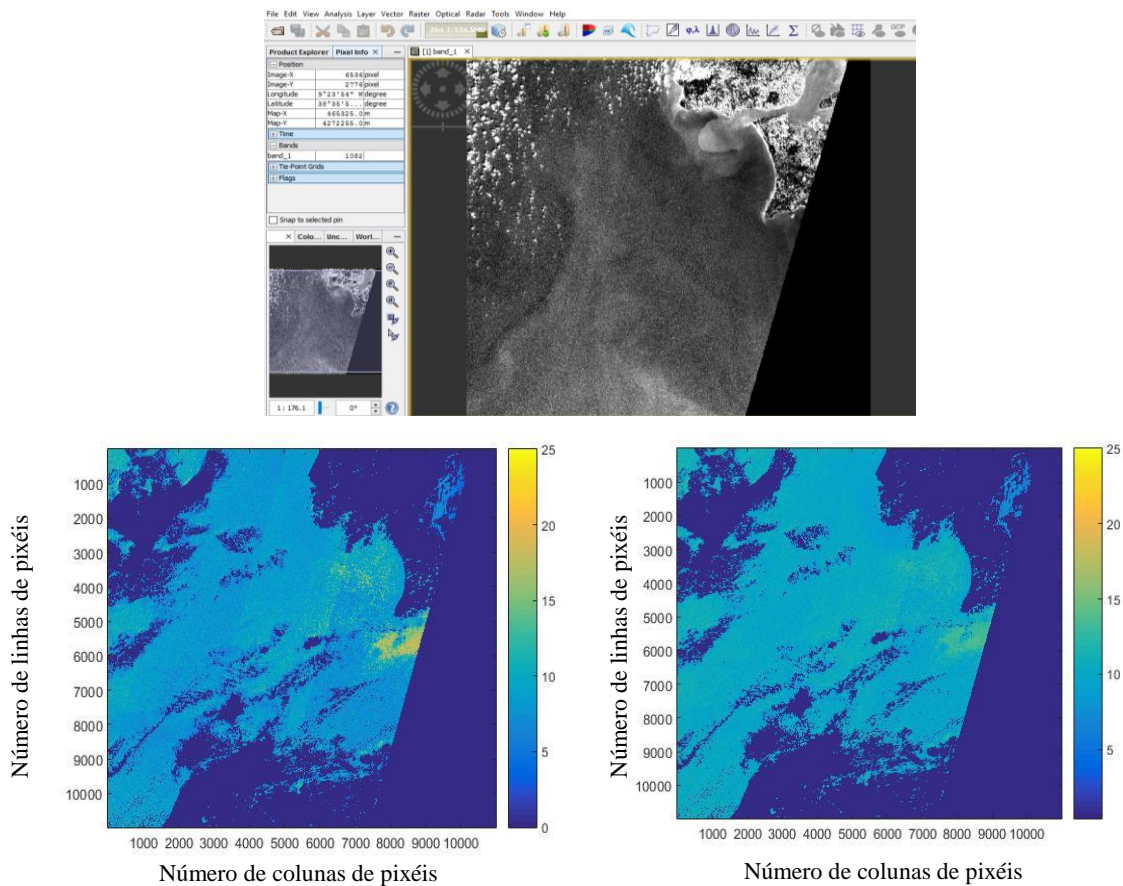


Figura 3.7: Representação dos processos usados para o processamento das imagens de Sentinel 2. Em cima encontra-se a imagem a ser processada no programa SNAP da ESA. Em baixo encontram-se as imagens processadas a partir de Matlab (esquerda imagem obtida a partir do algoritmo de Kratzer, direita imagem obtida para o algoritmo de Doron).

3.1.2 *ProcessAlgorithm* (Criação das imagens de profundidade de *Secchi*)

O *script ProcessAlgorithm* calcula o valor modelado da profundidade de *Secchi* para os dois algoritmos.

Iniciou-se o *script* com o algoritmo desenvolvido por *Kratzer* [2], a partir do qual é possível obter-se o Kd_{490} e a profundidade de *Secchi*. Este é calculado a partir do rácio da reflectância entre o comprimento de onda dos 490 e os 620 nm, equação 3.6. E calculado a partir da equação 3.7 desenvolvida por *Kratzer*.

$$ratio = \log \left(\frac{r_{rs}(490)}{r_{rs}(620)} \right) \quad 3.6.$$

$$Zsd_d = \frac{1}{\exp(-1,44 \times ratio - 1,27)} \quad 3.7.$$

De seguida procede-se aos cálculos para a realização do algoritmo de *Doron* [1]. Inicia-se por calcular a variação espectral da retrodifusão das partículas, η , o coeficiente dimensional, ν , a absorção nos 440 nm, $a(440)$ (*Landsat 7* são as Bandas 1 e 2, *Landsat 8* Bandas 1 e 3, *Sentinel 2* Banda 1 e 3), e o valor da absorção aos 555 nm, $a(555)$. Este é o primeiro passo do algoritmo (Tabela 3.5).

Para os restantes cálculos é necessário recorrer aos “outputs” do *script ProcessBands* para obter o valor de $u(\lambda)$ para cada uma das bandas dos satélites, passo 2. De seguida (passo 3) calcula-se a retrodifusão realizada pela água, $b_{bw}(\lambda)$, e realizada pelas partículas, $b_{bp}(\lambda)$ [31]. A partir dos valores calculados é possível obter-se o valor da absorção aos 490 nm (passo 3, Tabela 3.5).

Tabela 3.5: Cálculos necessários para a realização do primeiro passo do algoritmo de *Doron et al. (2011)*, que se baseia no cálculo da absorção e da retrodifusão para os 490 nm a partir do comprimento de onda dos 555 nm.

	$r_{rs}(0^-, \lambda) = \frac{R_{rs}(0^+, \lambda)}{0.52 + 1.7R_{rs}(0^+, \lambda)}$	Reflectância obtida remotamente
Passo 1:	$\eta = 2.2 \left(1 - 1.2 \exp \left(-0.9 \frac{r_{rs}(440)}{r_{rs}(555)} \right) \right)$	Variação espectral da retrodifusão das partículas
	$\nu = \ln \left(\frac{r_{rs}(440)}{r_{rs}(555)} \right)$	Coeficiente adimensional
	$a(440) = \exp(-1.8 - 1.4\nu + 0.2\nu^2)$	Absorção para a banda dos 440 nm
	$a(555) = 0.0596 + 0.2(a(440)_i - 0.01)$	Absorção para a banda dos 555 nm
Passo 2:	$u(\lambda) = \frac{-g0 \pm \sqrt{g0^2 - 4 \times g1 r_{rs}(\lambda)}}{2 \times g1}$	Coeficiente característico do algoritmo
Passo 3:	$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(555) \left(\frac{555}{\lambda} \right)^\eta$	Coeficiente de retrodifusão
	$b_{bp}(555) = \frac{a(555)u(555)}{1 - u(555)} - b_{bw}(555)$	Retrodifusão da radiação por parte de partículas
	$b_{bp}(490) = b_{bp}(555) \left(\frac{555}{\lambda} \right)^\eta$	Retrodifusão da radiação por parte de partículas

$$a(490) = \frac{(1 - u(490)) \times b_b(490)}{u(490)} \quad \text{Absorção}$$

Para o quarto passo realiza-se o cálculo da reflectância da radiação que sai da superfície da água (R_{rs}) no comprimento de onda dos 640 nm (equação 3.8), a partir do qual se obtém o respectivo valor da absorção (equação 3.10).

$$R_{rs}(640) = 0.01R_{rs}(555) + 1.4R_{rs}(670) - 0.0005 \frac{R_{rs}(670)}{R_{rs}(640)} \quad 3.8.$$

$$r_{rs}(640) = \frac{R_{rs}(640)}{0.52 + 1.7R_{rs}(640)} \quad 3.9.$$

$$a(640) = 0.31 + 0.07 \left(\frac{r_{rs}(640)}{r_{rs}(440)} \right)^{1.1} \quad 3.10.$$

É assim possível adquirir os valores de absorção e de retrodifusão nos 490 nm (Tabela 3.6).

Tabela 3.6: Cálculos necessários para a realização do primeiro passo do algoritmo realizado por Doron [1], que se baseia no cálculo da absorção e da retrodifusão para os 490 nm a partir do comprimento de onda dos 640 nm.

$b_{bp}(640) = -0.66E - 4 + \frac{a(640)u(640)}{1 - u(640)}$	Retrodifusão da radiação por parte de partículas aos 640 nm
$b_{bp}(490)^{[640]} = b_{bp}(640) \left(\frac{640}{490} \right)^\eta$	Retrodifusão da radiação por parte de partículas aos 490 nm
$b_b(490)^{[640]} = 0.78E - 4 + b_{bp}(490)$	Coefficiente de retrodifusão aos 490 nm
$a(490)^{[640]} = \frac{(1 - u(490)) \times b_b(490)}{u(490)}$	Absorção aos 490 nm

Recorrendo aos valores obtidos a partir do algoritmo realizou-se uma combinação linear dos dois resultados. Deste modo obtém-se o cálculo da absorção e da retrodifusão aos 490nm, equação 3.11 e 3.12.

$$\hat{a}(490) = \begin{cases} a(490)^{[555]} & a(440)^{[555]} < 0.3 \\ \left(1 - \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} \right) a(490)^{[555]} + \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} a(490)^{[555]} & 0.3 \leq a(440)^{[555]} \leq 0.5 \\ a(490)^{[640]} & a(440)^{[555]} > 0.5 \end{cases} \quad 3.11.$$

$$\widehat{b_{bp}}(490) = \begin{cases} b_{bp}(490)^{[555]} & a(440)^{[555]} < 0.3 \\ \left(1 - \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} \right) b_{bp}(490)^{[555]} + \frac{a(440)^{[555]} - 0.3}{0.2} b_{bp}(490)^{[555]} & 0.3 \leq a(440)^{[555]} \leq 0.5 \\ b_{bp}(490)^{[640]} & a(440)^{[555]} > 0.5 \end{cases} \quad 3.12.$$

De acordo com *Doron* [1] recorre-se aos valores de $R(490)$, $R(560)$ e *coupling contrast* (γ_0) de forma a calcular a profundidade de *Secchi* (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Cálculos referentes à Profundidade de *Secchi*, com base no algoritmo desenvolvido por *Doron* [1].

$Z_{SD} = 1.888\gamma_0 \left(\frac{R(0^-, 490)}{R(0^-, 560)} - 0.52 \right)$	Profundidade de <i>Secchi</i>
$\gamma_0 = \ln \frac{40}{0.066}$	<i>Coupling contrast</i>
$R = \frac{4 \times R_{rs} \times \pi}{\pi \times 0.529 + 4 \times 0.48 \times R_{rs} \times \pi}$	Reflectância

No final de se ter obtido os valores da profundidade de *Secchi*, obtém-se duas imagens como se encontra representado na Figura 3.8. Onde é possível verificar que há uma variação da profundidade calculada a partir de cada um dos métodos.

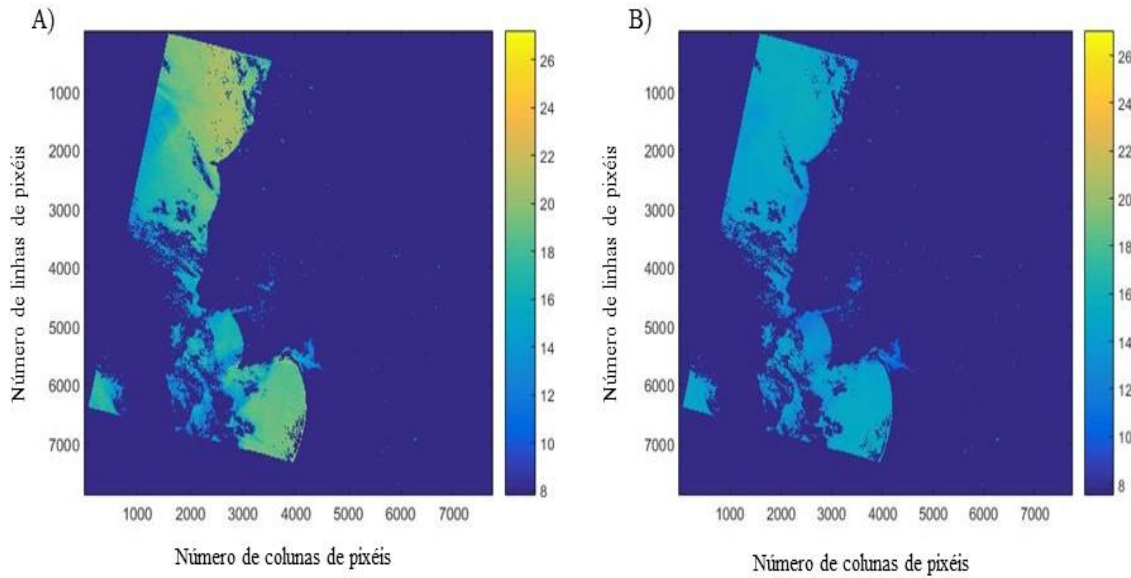


Figura 3.8: Imagens obtidas a partir do script *ProcessAlgorithm* para a imagem do *Landsat8* referente ao dia 20 de janeiro de 2016, pacote LC82040332016020LGN00.

A) Imagem obtida a partir do algoritmo desenvolvido por *Kratzer* [2].

B) Imagem obtida a partir do algoritmo desenvolvido por *Doron* [1].

3.2 Aquisição da profundidade

A obtenção das profundidades calculadas a partir dos *scripts* equivalentes aos valores *in situ* concretizou-se através do Q_{gis} . Para o processamento das imagens, obtidas através de *Matlab* (MathWorks) em Q_{gis} foi essencial transformá-las em *Geotiff* com as características originais das imagens de *Landsat*, já georreferenciadas (WGS 84 e não se considerou qualquer transformação geométrica entre as imagens e os locais de amostragem). Para esse efeito recorreu-se a funções próprias do *Matlab*, as quais copiam a imagem original de *Landsat/Sentinel* e substituem a matriz original pela final (com as profundidades de *Secchi*), mantendo a sua georreferenciação (Figura 3.9).

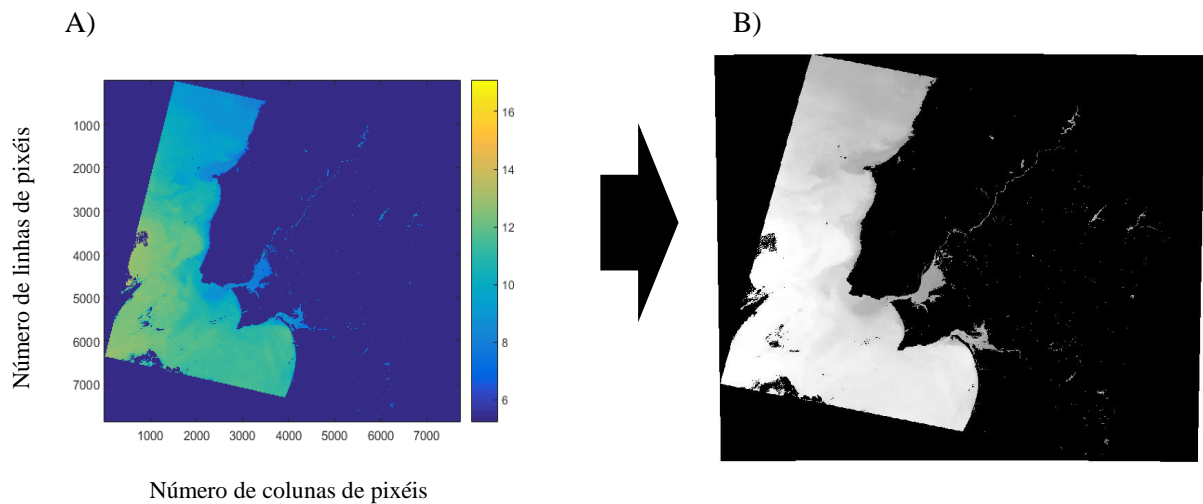


Figura 3.9: Imagem obtida através de Matlab (A) e introduzida no programa Qgis (B). A imagem em questão é do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016, com a profundidade de Secchi obtida por Doron et al 2016.

O *Qgis* permite retirar os valores das profundidades correspondentes a cada local como a média e desvio padrão dos pixels em torno do mesmo através do *raster calculator*, 9 pixels no total. No entanto houve casos em que não foi possível obter-se todos os pixels, devido a nuvens ou devido a falhas do instrumento de medição, sendo assim não se utilizaram os 9, mas os que era possível obter profundidade (Figura 3.10).

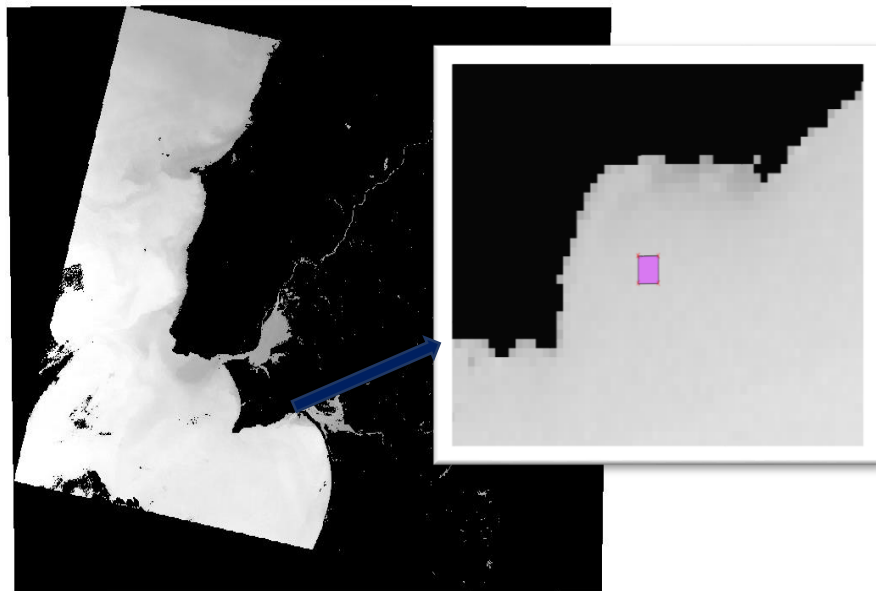


Figura 3.10: Imagem ampliada a uma escala de 1:5000 com os pixels analisados. A imagem em questão é do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016, com a profundidade de Secchi obtida através de Doron [1].

4. Capítulo – Resultados

4.1 Resultados da análise laboratorial

No presente subcapítulo encontram-se analisadas as recolhas de água (Anexo H – Medições realizadas). Esta análise prendeu-se com o estudo das suas propriedades bio-ópticas que influenciam a profundidade de *Secchi*, medida em cada local. Como os locais de amostragem apresentam características morfológicas distintas faz com que exibam concentrações distintas de substâncias presentes nas suas águas (Anexo I– Medições modeladas e *in situ*).

Tabela 4.1: Identificação das amostras, com o respetivo local de amostragem dia e hora, e a sua respetiva concentração de SPM, o coeficiente de absorção aos 490 nm e a concentração de clorofila_a.

Amostras	Local	Dia	SPM (mg/L)	Coef. De Abs. (440nm)	Clorofila_a (µg.L-1)
1	Tejo	30/09/15	81,90	0,28	2,77
2			34,25	0,52	4,00
3			24,20	0,55	3,23
4			27,50	0,76	3,54
5			29,35	0,57	4,77
6			24,45	0,58	3,39
7			26,67	0,67	3,69
8			32,63	1,21	2,00
9			30,10	0,53	3,08
10			33,85	0,50	2,49
1	Tejo	26/01/16	4,95	0,85	1,13
2		14/03/16	1,60	0,52	0,92
3			1,50	0,78	0,92
4			3,20	0,72	0,77
5			3,63	10,16	1,64
6			3,43	9,83	1,74
7			4,43	0,71	1,39
8			4,35	1,46	1,49
9			5,13	0,26	1,23
2			2,50	1,26	1,74
3	Sado	20/05/2016	0,90	0,51	1,23
4			0,75	1,12	2,26
6			0,63	0,96	1,59
7			1,15	0,64	3,13
8			1,10	0,76	4,82
1			0,90	0,34	2,57
3		15/07/16	1,85	1,34	2,21
5			0,90	0,06	1,23
7			1,47	0,22	1,44
1	Sesimbra	26/06/16	1,33	0,19	3,69
1		17/04/16	1,47	0,14	2,26
2			1,43	0,28	2,51

Procedeu-se assim á obtenção:

- Da concentração de clorofila_a, o qual indica a quantidade de fitoplâncton presente no meio;
- O espectro do CDOM, o qual apresenta a quantidade de matéria orgânica dissolvida na água. A partir dos valores da absorção obtidos, em particular a absorção nos 440 nm, é possível obter o cálculo do coeficiente de absorção;
- A concentração do SPM, matéria particulada em suspensão. Permite a obtenção da concentração do sedimento presente na coluna de água;
- O espectro de absorção da água, o qual corresponde a absorção de todas as substâncias presentes na coluna de água.

No total obtiveram-se três amostras de Sesimbra, vinte do Tejo e dez do Sado (Tabela 4.1). Recorreu-se aos resultados obtidos, a partir de métodos laboratoriais, e relacionaram-se com os locais de amostragem.

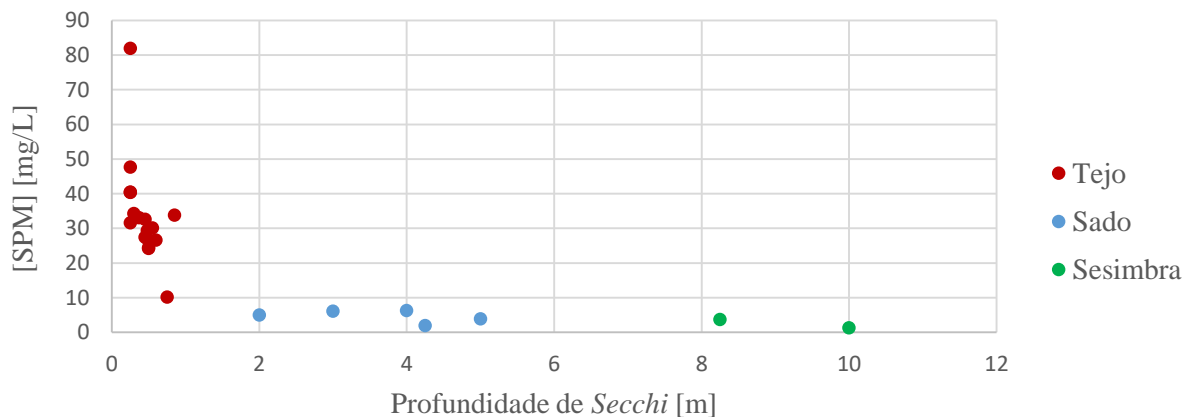


Figura 4.1: Relação entre a concentração de matéria em suspensão (mg/L) e a profundidade de Secchi (m).

A partir da compilação dos dados de SPM (Figura 4.1) verificou-se que profundidades de *Secchi* mais elevadas apresentam concentrações mais baixas de SPM, averiguadas em Sesimbra onde se apuraram valores de profundidades até 10 m. As profundidades mais baixas foram verificadas no estuário do Tejo, apresentando valores de profundidade menores que 1 m. Foi assim possível observar-se uma tendência, embora fraca, que demonstra que as concentrações de SPM vão diminuindo à medida que a profundidade aumenta.

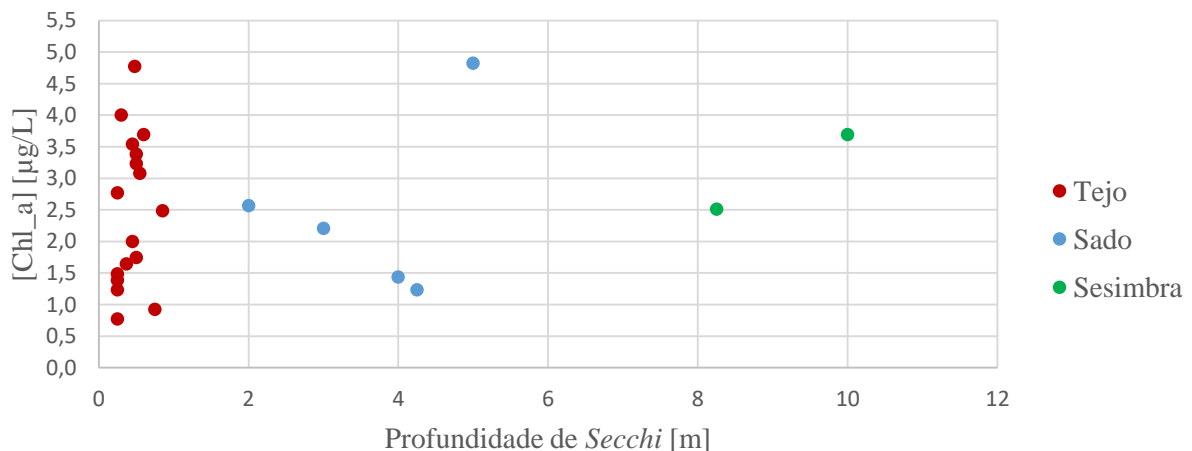


Figura 4.2: Relação entre a concentração de clorofila e a profundidade de Secchi.

Não foi possível observar-se a relação entre as concentrações de clorofila *a* e a profundidade de *Secchi* (Figura 4.2), esta apresenta valores de concentrações semelhantes para profundidades muito distintas. Verifica-se assim que os dados obtidos são insuficientes para retirar alguma conclusão da nuvem de pontos pois não é observada nenhuma tendência.

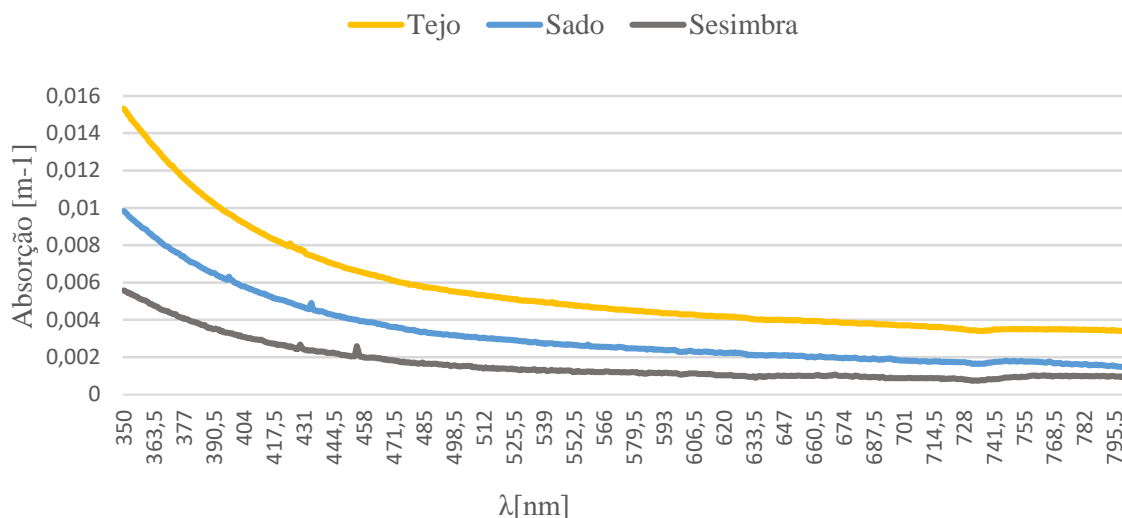


Figura 4.3: Média do espectro de absorção do CDOM para cada um dos locais de amostragem. Realizada a partir da média dos valores das amostragens para cada um dos locais

A partir do espectro da média de absorção do CDOM (Figura 4.3, Anexo G – Espectros de absorção do CDOM para cada amostragem) é possível verificar a variação da concentração de matéria orgânica dissolvida na coluna de água. A matéria orgânica dissolvida encontra-se relacionada com a atividade biológica de bactérias, águas com uma elevada carga de material orgânico apresentem concentrações mais elevadas. Verificou-se que o Tejo apresenta, em média, um espectro de absorção mais elevado que os restantes. O espectro que apresenta valores mais baixos, em média, é o de Sesimbra. Observou-se que os estuários apresentam uma concentração de CDOM mais acentuada do que zonas costeiras em contacto direto com o oceano. Esta diferença encontra-se relacionada com a geomorfologia dos locais de amostragem.

Na Figura 4.4 observa-se que os valores da absorção do CDOM para os três locais. Verificou-se que no Tejo existiam amostras com espectros de absorção mais acentuados. De acordo com os relatórios das saídas de campo no decorrer das amostragens na bacia do Tejo constatou-se a existência de mariscadores a remexer o fundo da bacia, colocando o sedimento em suspensão. Esta atividade teve consequências em algumas amostras.

O espectro de absorção indica a capacidade de o meio absorver radiação em cada um dos comprimentos de onda de 350 a 750 nm, permitindo verificar se este apresenta uma maior ou menor concentração de substâncias inerentes. Observa-se que o espectro de absorção vai diminuindo (m^{-1}) à medida que o comprimento de onda vai aumentando, apresentando um pico a rondar os 660 (Figura 4.4) correspondendo à absorção de clorofila da amostra. Uma grande parte das amostras obtidas no Tejo foram invalidadas, apresentavam espectros de absorção pouco coerentes e com valores contraditórios. Uma das possíveis causas para estes valores foram: os cálculos/metodologia laboratorial não serem adequados para amostras de campo (já que se não encontram em ambientes controlados); dos mariscadores do Tejo que remexerem o fundo com dragas ou manualmente colocando material em suspensão influenciando as amostragens, e a própria dinâmica do estuário.

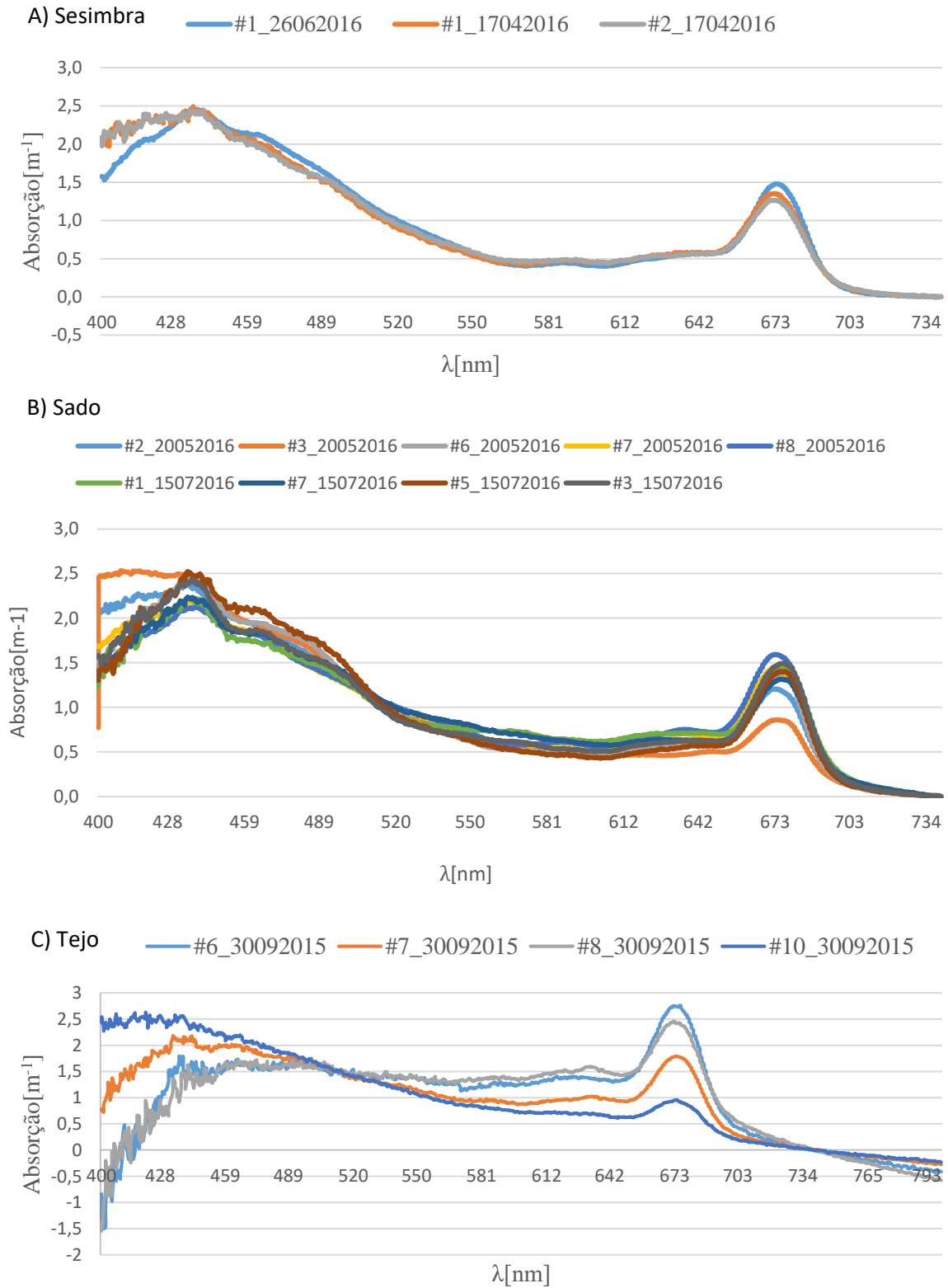


Figura 4.4: Gráficos com os espectros de absorção para as amostras recolhidas nas campanhas.
A) Sesimbra, B) Sado e C) Tejo.

4.2 Resultados do *script*

No presente subcapítulo encontra-se descrito os resultados obtidos a partir dos *script* para os algoritmos de *Doron* [1] e *Kratzer* [2]. Estes foram comparados com os resultados *in situ* adquiridos através das escolas de mergulho e das campanhas, com as respetivas latitudes e longitudes (WGS89) do mesmo dia em que as imagens de satélite foram criadas.

Através dos dados obtidos das campanhas e das escolas de mergulho, foi possível perceber a relação existente entre estes e os dados obtidos a partir dos *scripts* realizados. Desta forma, pretendeu-se verificar: as profundidades de *Secchi* para as zonas costeiras e estuarinas estudadas acima, obtidas a partir dos algoritmos de *Doron* [1] e *Kratzer* [2]. As respetivas diferenças entre os dois métodos matemáticos para o cálculo das profundidades de *Secchi*, as absorções, obtidas a partir do algoritmo criado por *Lee* [31], e a sua variação ao longo da costa.

Os pacotes de imagens escolhidos (*Landsat 7/8* e *Sentinel 2*) correspondem aos dias em que se realizaram medições *in situ* ou campanhas. Obtiveram-se 9 pacotes de dados obtidos *in situ* pelas escolas de mergulho e 4 pacotes de dados para as campanhas. A Tabela 4.2 encontra-se dividida em duas partes: a primeira corresponde às medições realizadas pelas escolas de mergulho; a segunda parte às campanhas realizadas pela faculdade com o objetivo de medir a profundidade de *Secchi* e recolher amostras de água para análise.

Tabela 4.2: Pacotes de imagens de satélite correspondentes aos dias em que as escolas de mergulho realizaram as amostragens *in situ*, e as campanhas. Estes foram obtidos a partir de USGS e ESA.

Satélite	Pacote da imagem	Data	Profundidade de <i>Secchi</i> (m)	Local da amostragem <i>in situ</i>
Landsat 7	LE72040332016108EDC01	17/05/2016	9,5	River Popa
	LC82050332015360LGN00	26/12/2015	15	Baía Armação
Landsat 8	LC82040332016020LGN00	20/01/2016	12,5	Boia Baía
	LC82040332016084LGN00	24/03/2016	15	Baía Armação
	LC82040332016052LGN00	21/2/2016	4	Peniche
	LC82040332016052LGN00	21/2/2016	10,5	Baía Armação
	LC82040332016116LGN00	25/04/2016	15	River Popa
	LC82040332016116LGN00	25/04/2016	15	River Popa
Sentinel 2	S2_20152212	22/12/2015	12,5	Baía Armação
	S2_20163004	30/04/2016	11	Baía Armação
Satélite	Pacote da imagem	Data	Profundidade de <i>Secchi</i> (m)	Local da Campanha
Landsat 8	LC82040332015273LGN00	30/09/2015	<1	Tejo
Landsat 7	LE72040332016108EDC01	17/04/2016	±10	Sesimbra
Sentinel 2	S2_20161403	14/03/2016	<1	Tejo
Satélite	S2_20162005	20/05/2016	8	Sado

4.2.1 Escolas de mergulho

A partir da parceria realizada com escolas de mergulho foi possível obter medições de profundidades de *Secchi*, com especial concentração na zona de Sesimbra, sendo que, uma das quais foi concretizada na zona de Peniche, próxima das Berlengas.

Separaram-se as medições em zonas (Figura 4.5) e atribuíram-se nomes, nomeadamente baía de armação (35 medições), boia baía (7 medições) e zona atlântica (5 medições).



Figura 4.5: Localização das áreas de medição realizadas pelas escolas de mergulho.
Imagem obtida a partir de Google Maps.

A partir da delimitação das áreas de medição, foi calculada a média e o desvio padrão para cada uma (Anexo H – Medições realizadas, Tabela 4.3, Figura 4.5). Este cálculo permitiu aferir a variação das profundidades naqueles locais e os valores médios esperados para os próprios. O mesmo não pôde ser realizado com a medição de Peniche uma vez que consistiu numa só medição (4 m). As tabelas com os valores registados encontram-se em anexo (Anexo H – Medições realizadas).

Tabela 4.3: Análise estatísticas das áreas de medição realizadas pelas escolas de mergulho.
Obtidas a partir das 48 medições.

Local	Média da Prof. de <i>Secchi</i>	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
Boia Baía	10,90	1,24	12,5	7
Baía Armação	10,42	2,20	15	5,5
Zona Atlântica	11,25	3,44	15,00	6,50

A Tabela 4.4 representa os valores das profundidades de *Secchi in situ* e os respetivos valores modelados, para cada pacote de imagens Nas amostragens realizadas pelas escolas apenas foram obtidas as profundidades de *Secchi*, não foram realizadas recolhas de água. Sendo assim a partir das amostragens *in situ* só se pode verificar a variação da profundidade para os diferentes algoritmos realizados.

Tabela 4.4: Profundidades de secchi reais e modeladas com os respectivos pacotes de imagens.

Satélite	Pacote de imagens	P.S. In situ (m)	P. S. Modelada (m)	
			Doron	Kratzer
Landsat 7	LE72040332016108EDC01	9,5	12,1	12,22
	LC82040332016020LGN00	12,5	13,767	16,272
	LC82040332016084LGN00	15	13,206	20,13
Landsat 8	LC82040332016116LGN00	15	13,873	15,844
	LC82040332016052LGN00	4	9,723	8,273
	LC82040332016052LGN00	10,5	10,64	8,817
Sentinel 2	S2_20152212	12,5	10,27	16,78
	S2_20163004	11	10,63	12,28

Realizaram-se as curvas de tendência das amostragens, Figura 4.6.

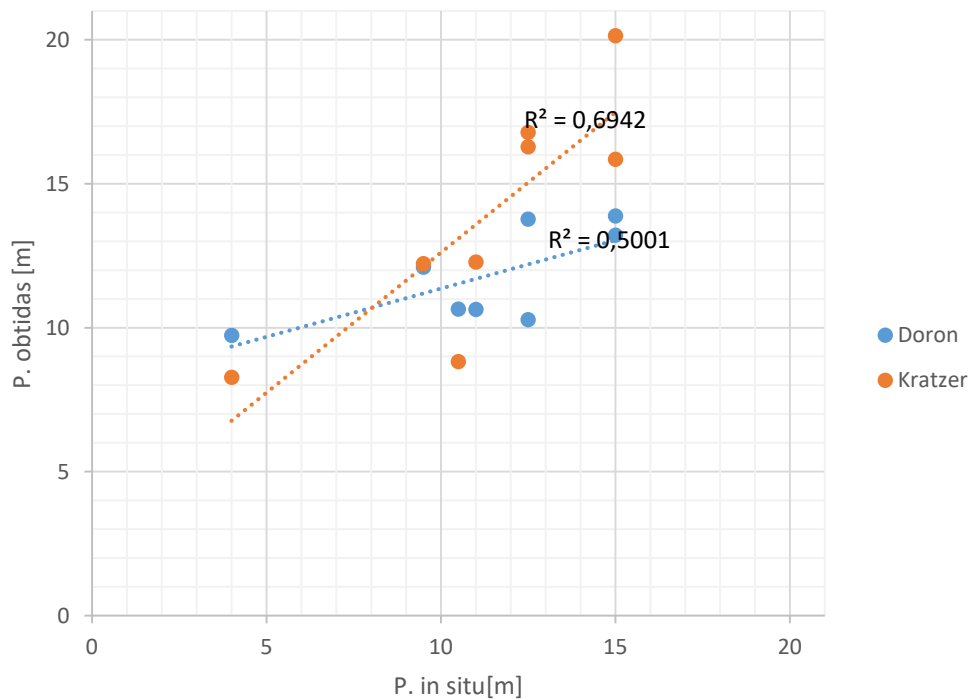


Figura 4.6: Gráfico representativo dos resultados das profundidades de Secchi obtidos teoricamente (m) a partir de Matlab e Qgis (laranja foram obtidos a partir do algoritmo de Doron e a azul os obtidos por Kratzer) e das profundidades obtidas in situ (m)

A Figura 4.7 representa a diferença entre cada algoritmo e o valor real:

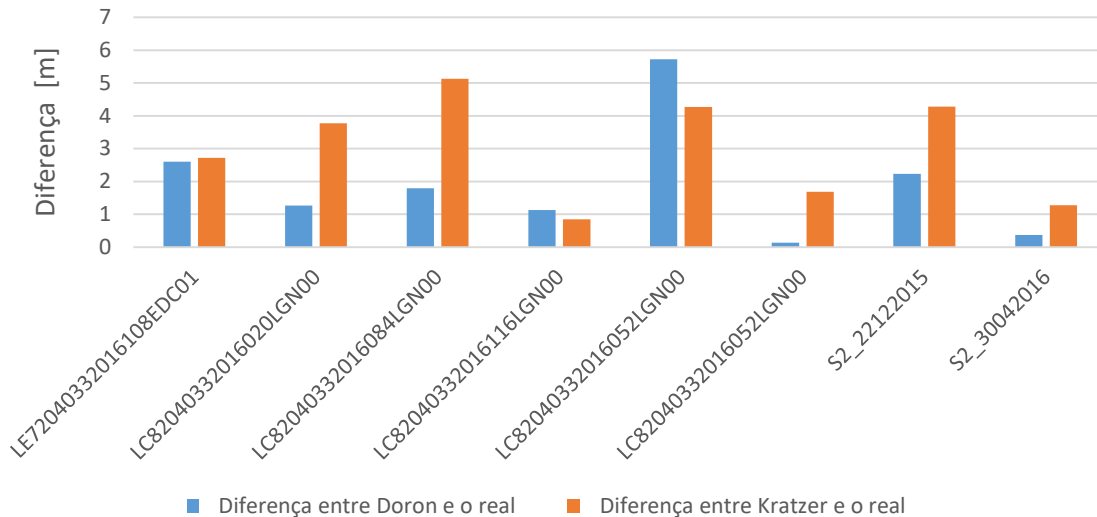


Figura 4.7: Diferença obtidas entre os algoritmos e os valores reais. A azul encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Doron e os valores reais. A laranja encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Kratzer e os valores reais.

Ao comparar-se os resultados adquiridos teoricamente, Tabela 4.4, e os valores expectáveis para as zonas de aquisição das profundidades *in situ*, Tabela 4.3, averiguou-se que os resultados obtidos a partir dos algoritmos encontram-se entre o máximo e o mínimo para aqueles locais de amostragem realizados pela escola de mergulho (zona de Sesimbra). Indicando a possibilidade de obter a profundidade de *Secchi* a partir dos algoritmos para a zona em questão.

4.2.2 Campanhas

Foi realizado um conjunto de amostragens durante 7 campanhas em três locais que apresentam características morfológicas distintas: Sesimbra, Sado e Tejo. Do total de campanhas realizadas, 3 foram excluídas por diversos motivos:

- Tejo do dia 26 de janeiro de 2016: a campanha realizada na Baía do Seixal não foi considerada por se encontrar a menos de 30 m da costa e se encontrar coberta com a máscara de nuvens e terra criada;
- Sesimbra do dia 26 junho de 2016: a imagem de satélite não coincidia com a área de estudo pretendida (Figura 4.8).
- Sado do dia 15 de julho de 2016: a imagem de satélite não corresponde com a área de estudo pretendida (Figura 4.8).

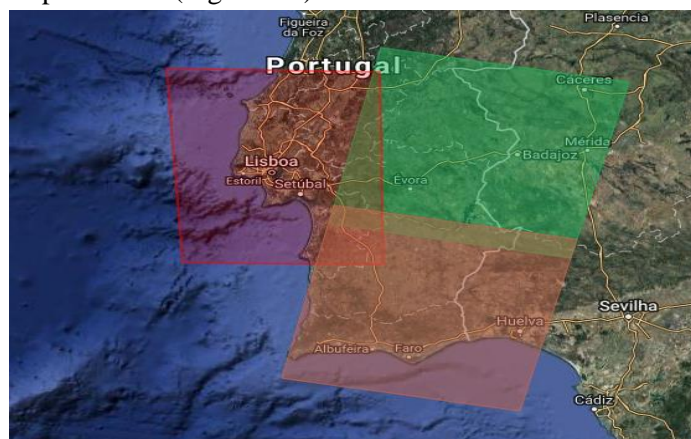


Figura 4.8: Imagem obtida a partir do site EarthExplorer [41] com a área defendida a vermelho e as imagens de satélite que coincidem com a área pretendida.

Estudaram-se 4 campanhas (Tabela 4.5): duas no Tejo; uma em Sesimbra; uma no Sado. Compararam-se as profundidades de *Secchi* obtidas a partir de algoritmos com as medições realizadas *in situ*. Os produtos dos algoritmos indicam que os resultados da profundidade de *Secchi* ficam longe dos resultados pretendidos no Tejo.

Tabela 4.5: Profundidades de *Secchi* reais e modeladas com os respetivos pacotes de imagens.

Local	Dia	Pacote de imagens	Amostra	P.S. Reais (m)	P. S. Modelada (m)	
					Doron	Krazer
Tejo	30/09/2015	LC82040332015273LGN00	1	0,25	7,14	8,06
			2	0,3	8,02	7,17
			3	0,5	8,00	7,04
			7	0,6	8,28	7,32
			8	0,45	8,76	7,21
			9	0,55	8,26	7,44
			10	0,85	8,47	8,45
Sesimbra	17/04/2016	LE72040332016108EDC01	2	8,25	12,89	13,89
Sado	20/05/2016	S2_20162005	8	5,00	10,36	13,70
Tejo	14/03/2016	S2_20161403	5	0,5	4,74	4,74
			6	0,5	4,92	4,89
			7	0,25	4,76	4,75
			8	0,25	4,76	4,75
			9	0,25	4,73	4,72

Realizaram-se as curvas de tendência das amostragens, Figura 4.9.

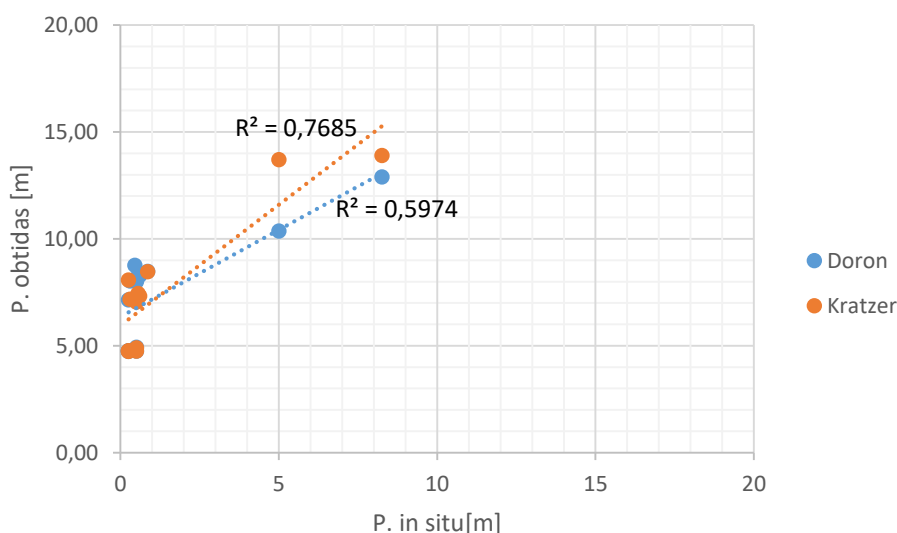


Figura 4.9: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os *in situ* para cada algoritmo, com as respetivas linhas de tendência.

A Figura 4.10 representa a diferença entre cada algoritmo e o valor real:

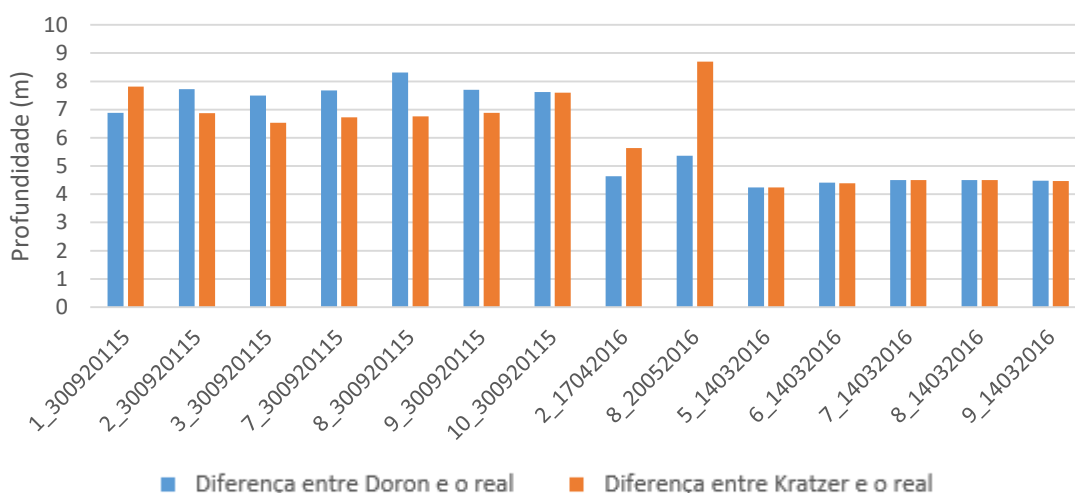


Figura 4.10: Diferença obtidas entre os algoritmos e os valores reais. A azul encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Doron e os valores reais. A laranja encontra-se representada a diferença entre a profundidade obtida através do algoritmo desenvolvido por Kratzer e os valores reais.

Comparando-se os resultados adquiridos teoricamente, Tabela 4.4, e os valores expectáveis para as zonas de aquisição das profundidades *in situ*, averiguou-se que os resultados obtidos a partir dos algoritmos encontram-se muito diferentes dos reais, Figura 4.10.

Verificou uma maior disparidade de resultados no Tejo. Um dos possíveis fatores que levaram à elevada disparidade de resultados pode ter sido a diferença entre a hora a que se procedeu a medição e a passagem do satélite. Como este apresenta uma elevada dinâmica e as medições terem sido realizadas em maré baixa, estes podem ter variado muito rapidamente. Outros fatores que podem ter influenciado os resultados foram:

- Poluição aérea e condições meteorológicas: o ano de 2016 foi um ano chuvoso que proporcionou a existência de neblina sobre o Tejo;
- Elevada atividade estuarina: apanha de amêijoas que registou um fluxo de atividade de barcos;
- A elevada corrente que o Tejo apresenta na preia-mar resulta numa elevada carga de sedimentos em suspensão durante a recolha de amostras e medição das profundidades de *Secchi*;
- A estratificação das camadas de água salobra e água oceânica no Tejo em maré morta e a sua instabilidade;
- Não se ter aplicado a correção atmosférica às imagens utilizadas neste estudo e não se ter realizado nenhuma transformação de coordenadas entre as imagens usadas e as localizações das amostragens

Estes fatores influenciam os dados laboratoriais adquiridos, apresentando uma inconstância muito considerável em relação aos dados obtidos a partir dos algoritmos. Um dos motivos, para além da dinâmica do estuário do Tejo, é a baixa sensibilidade que os algoritmos apresentam a profundidades pequenas. Verificou-se uma necessidade futura para a realização de um aperfeiçoamento dos algoritmos para as zonas em questão, já que são zonas de elevada dinâmica e apresentam uma concentração de componentes bio-ópticas considerável.

Apesar da reduzida quantidade de dados recolhidos *in situ* no Sado, verificou-se que os mesmos não variam muito comparativamente às obtidas a partir dos algoritmos. Ao longo do tratamento das imagens verificou-se que as profundidades de *Secchi* para aquele local rodam os 4 m. Estes resultados não foram muito discrepantes dos obtidos *in situ* através das campanhas.

4.2.3 Absorções

As absorções foram obtidas a partir do algoritmo realizado por *Lee* [31] [1]. Este permite a obtenção da absorção aos 440 nm.

A partir da análise das imagens de absorção aos 440 nm obtidas, observa-se que estas apresentam valores mais elevados em zonas de orla costeiras e estuarinas, nomeadamente o Tejo e Sado, ao contrário do oceano aberto (Figura 4.11, Figura 4.13, Figura 4.14 e Figura 4.15).

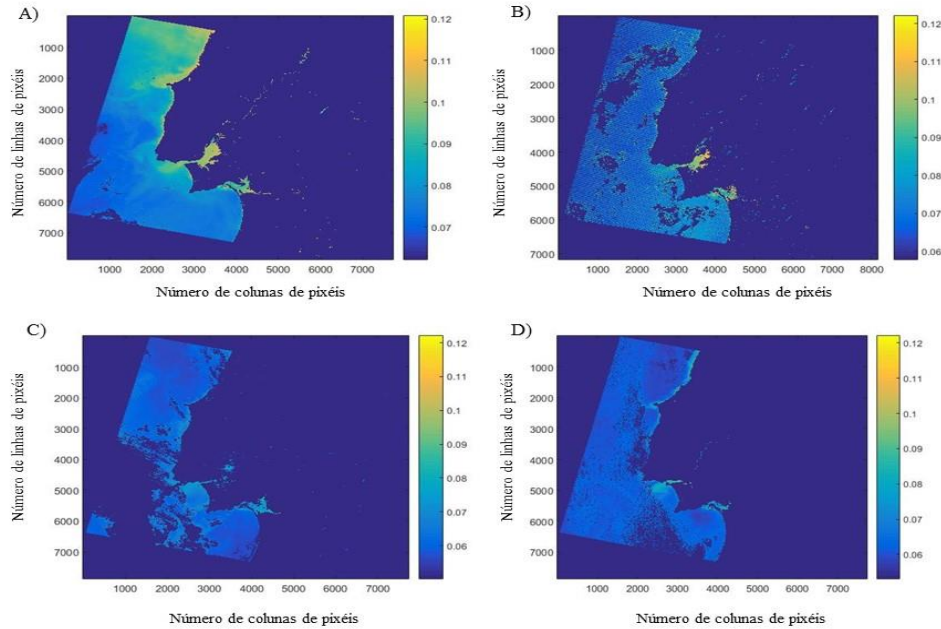


Figura 4.11: imagens obtidas a partir de Matlab com a variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).

A imagem A) corresponde ao pacote de imagem LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016; B) LE72040332016108LGN00, dia 17 de maio de 2016; C) LC82040332016020LGN00, dia 20 de janeiro de 2016; D) LC82040332016084LGN00, dia 24 de março de 2016.

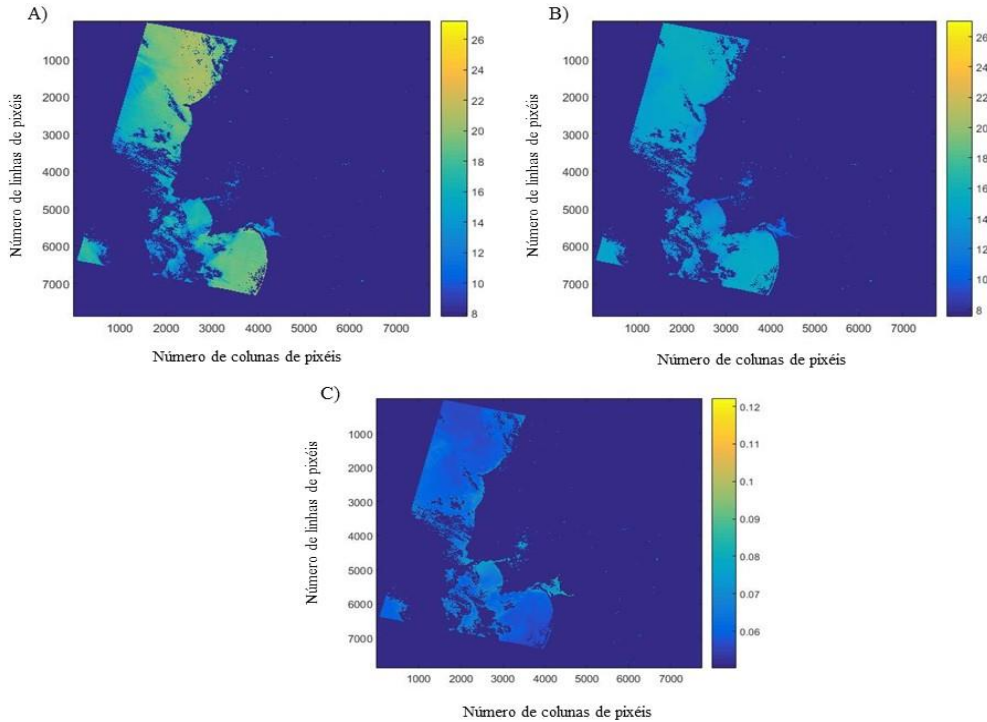


Figura 4.12: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00 dia 20 de janeiro de 2016. A) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).

Esses valores de absorção encontram-se próximos dos valores obtidos nas campanhas, nas quais se averiguou que zonas costeiras (Sesimbra, Figura 4.15) apresentam absorções mais baixas do que as verificadas no Tejo (Figura 4.13) e no Sado (Figura 4.13). Esta variação deve-se à existência de uma maior concentração de substâncias/partículas presentes nas áreas estuarinas contrariamente às zonas de orla costeira onde as concentrações são mais baixas (Figura 4.11). Também é possível verificar que zonas com valores de absorção mais acentuados (Figura 4.12) apresentam profundidades de *Secchi* mais baixas (zonas estuarinas), enquanto para profundidades mais elevadas apresentam absorções mais baixas (oceano aberto).

Tabela 4.6: Média dos valores obtidos para a absorção aos 440 nm para cada imagem.

Pacote da imagem	Data	Absorção 440 nm (m^{-1})
LE72040332016108EDC01	17/04/2016	0,0803
LC82040332016116LGN00	25/04/2016	0,0682
LC82040332016084LGN00	24/03/2016	0,0643
LC82040332016052LGN00	21/02/2016	0,0882
LC82040332016020LGN00	20/01/2016	0,065

Os valores das absorções relativas aos processos laboratoriais (Tabela 4.6) e as imagens obtidas de *Landsat* (Figura 4.11) mostram que as absorções obtidas através dos algoritmos não diferem muito dos valores reais.

Relativamente às imagens de *Sentinel 2*, realizou-se o *resample* das imagens. Este processo transforma o número de pixéis de cada imagem (de uma resolução de 10 m para 60 m), uma vez que as bandas usadas para o cálculo da absorção apresentaram resoluções distintas. Os valores obtidos não apresentam coerência já que não variam de uma forma regular. As imagens ao passarem de uma resolução de 10 m para uma de 60 sofrem alterações que resultam da modificação dos valores da matriz, não fazendo com que os valores obtidos sejam fidedignos, acabando por ser excluídos.

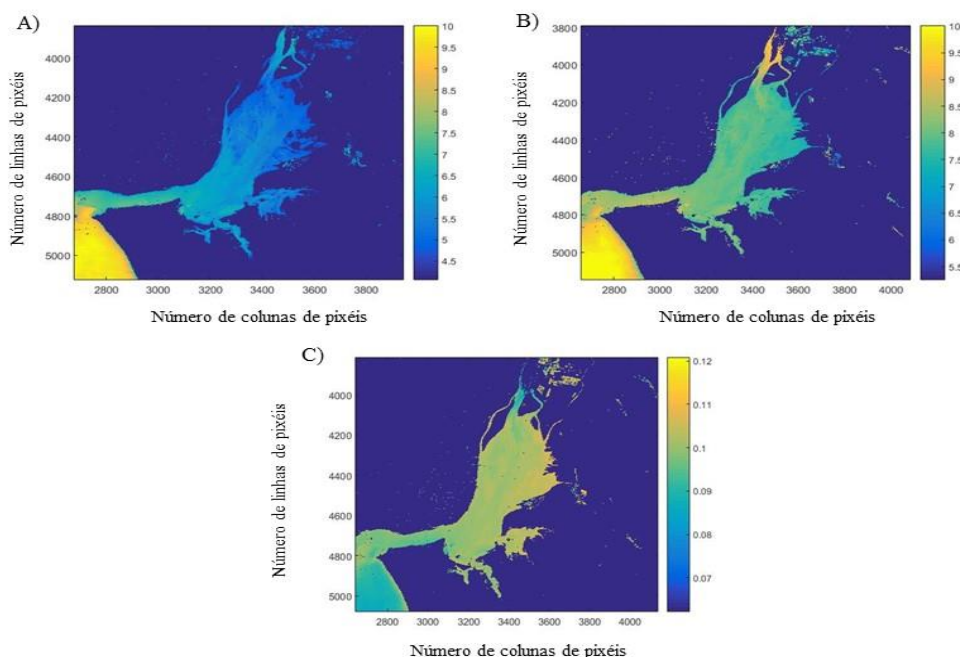


Figura 4.13: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 20 de fevereiro de 2016 para o Tejo. A) Profundidade de *Secchi* (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade de *Secchi* (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).

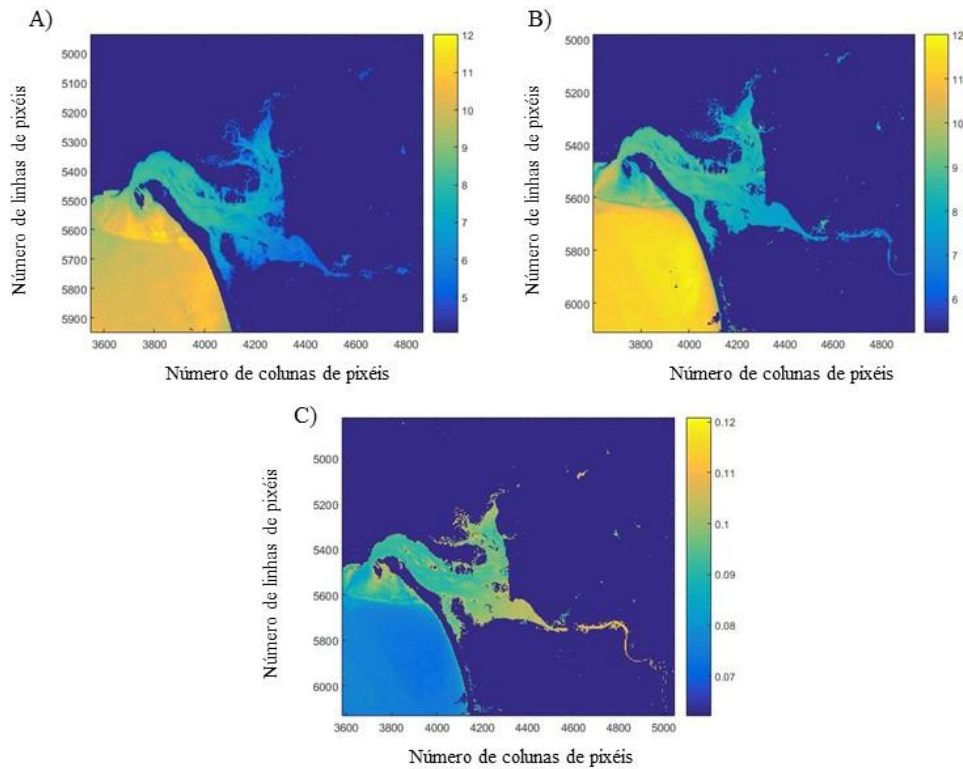


Figura 4.14: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016 para o Sado. A) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).

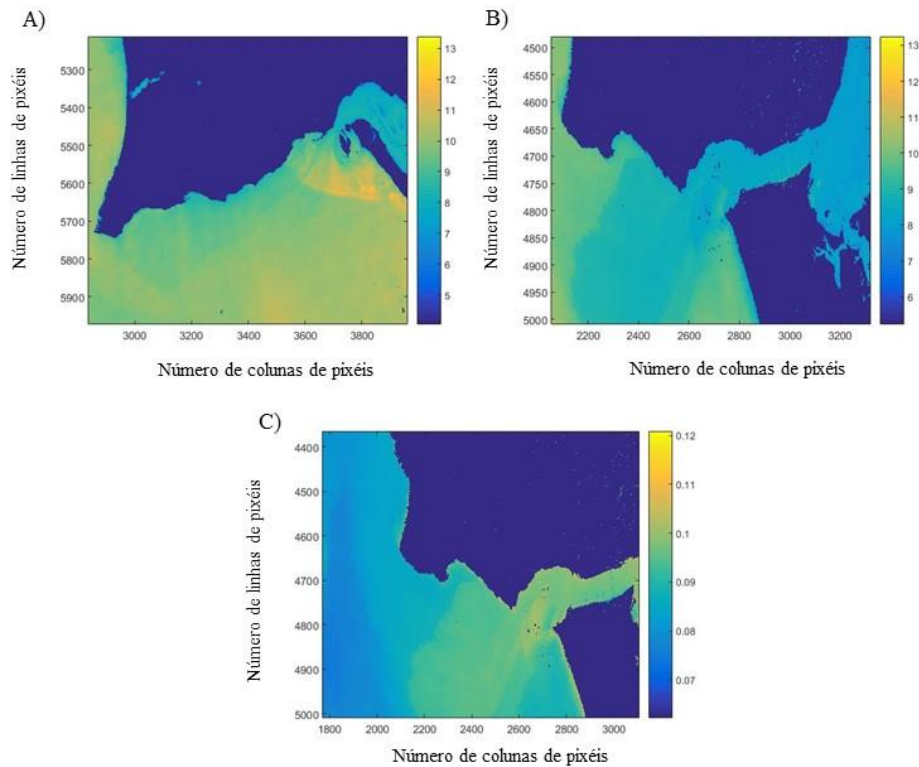


Figura 4.15: Imagens obtidas a partir de Matlab do pacote de dados LC82040332016052LGN00, dia 21 de fevereiro de 2016 para Sesimbra. A) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Kratzer [2]; B) Profundidade se Secchi (m) obtida a partir do algoritmo desenvolvido por Doron [1]; C) variação da absorção aos 440 nm (m^{-1}).

5. Capítulo – Análise de resultados

No presente capítulo pretende-se verificar qual o melhor satélite (dos analisados) para se proceder à obtenção das profundidades de *Secchi* e o melhor algoritmo para o seu cálculo. Juntaram-se todas as profundidades adquiridas a partir das campanhas e escolas de mergulho.

Assim sendo, iniciou-se o processo comparativo. A Tabela 5.1 reúne os valores *in situ* e os valores obtidos através dos algoritmos, para as campanhas e para as amostragens realizadas pelas escolas de mergulho. Observa-se que os valores das profundidades de *Secchi* obtidos a partir dos algoritmos apresentam valores maiores do que os reais.

Tabela 5.1: Profundidades de Secchi in situ e obtidas a partir dos algoritmos de Doron [1] e de Kratzer [2] para cada pacote de imagem, encontram-se reunidos os resultados das campanhas e das amostras recolhidas pelas escolas de mergulho.

Pacote de imagem	Profundidade in situ [m]	Doron [m]	Kratzer [m]	Erro [m]		Diferença Doron e Kratzer [m]
				Doron	Kratzer	
LE72040332016108EDC01	9,500	12,100	12,220	2,600	2,720	0,120
LE72040332016108EDC01	8,250	12,889	13,889	1,267	3,772	1,000
LC82040332016020LGN00	12,500	13,767	16,272	1,794	5,130	2,505
LC82040332016084LGN00	15,000	13,206	20,130	1,127	0,844	6,924
LC82040332016116LGN00	15,000	13,873	15,844	5,723	4,273	1,971
LC82040332016052LGN00	4,000	9,723	8,273	0,140	1,683	1,450
LC82040332016052LGN00	10,500	10,640	8,817	2,230	4,282	1,823
LC82040332015273LGN01c	0,300	8,024	7,172	0,373	1,277	0,852
	0,500	8,000	7,035	4,639	5,639	0,965
	0,600	8,283	7,324	5,363	8,703	0,959
	0,450	8,760	7,208	7,724	6,872	1,552
	0,550	8,256	7,437	7,500	6,535	0,819
	0,850	8,473	8,452	7,683	6,724	0,021
	8,250	12,889	13,889	8,310	6,758	1,000
	5,000	10,363	13,703	7,706	6,887	3,340
S2_20122212	12,500	10,270	16,782	7,623	7,602	6,512
S2_20163004	11,000	10,627	12,277	4,639	5,639	1,650
S2_20162005	5,000	10,363	13,703	5,363	8,703	3,340
S2_20161403	0,500	4,742	4,742	4,242	4,242	0,000
	0,500	4,917	4,890	4,417	4,390	0,027
	0,250	4,755	4,750	4,505	4,500	0,005
	0,250	4,755	4,753	4,505	4,503	0,003
	0,250	4,733	4,723	4,483	4,473	0,010

Realizaram-se as curvas de tendência para os resultados:

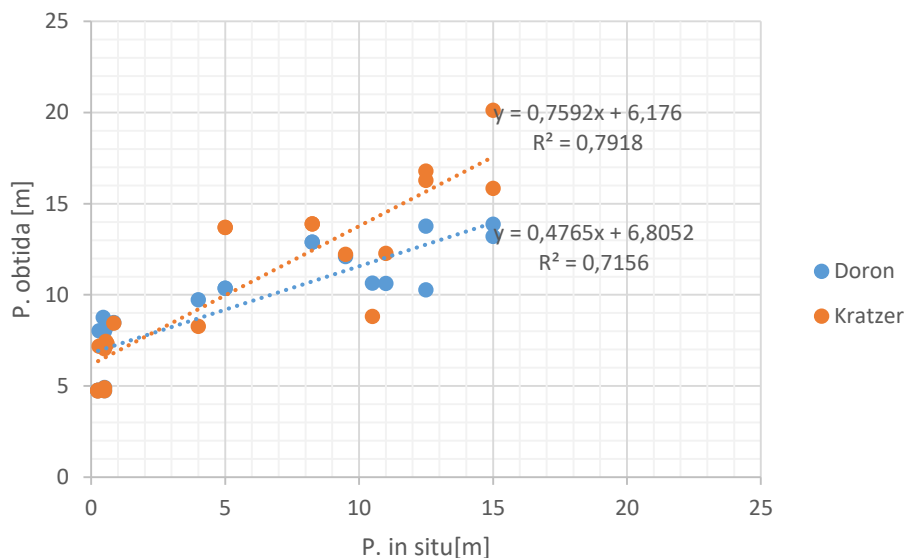


Figura 5.1: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os in situ para cada algoritmo, com as respectivas linhas de tendência.

Na Figura 5.2 observa-se que a curva de tendência obtida através do algoritmo desenvolvido por Doron [1] vai diminuindo à medida que a profundidade real vai aumentando (linha azul). Enquanto que a curva de tendência obtida através da diferença dos valores reais e dos valores obtidos a partir do algoritmo de Kratzer [2] (linha laranja) vai diminuindo ligeiramente à medida que a profundidade aumenta.

Os erros adquiridos a partir do algoritmo desenvolvido por Doron são superiores a baixas profundidades, mas inferiores à medida que a profundidade aumenta. O mesmo é verificado em Kratzer, no entanto os seus erros não diminuem de uma forma tão acentuada como os de Doron.

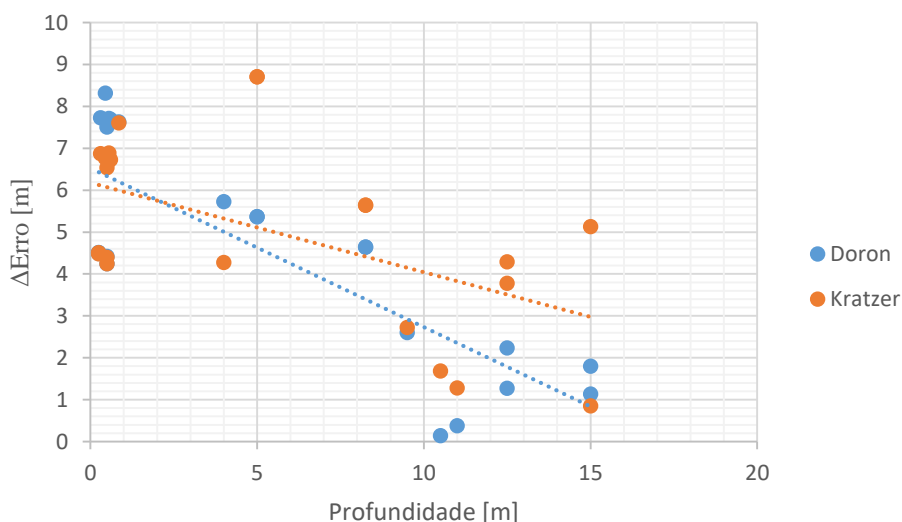


Figura 5.2: Variação da diferença entre cada algoritmo e o valor real com o aumento da profundidade (Δ Erro). A azul é a linha de tendência obtida a partir da diferença entre o algoritmo desenvolvido por Doron e o valor real [m]. A laranja é a linha de tendência obtida a partir da diferença entre o algoritmo desenvolvido por Kratzer e o valor real [m].

A análise realizada indica que ambos os algoritmos apresentam baixa sensibilidade para profundidades pequenas. O algoritmo realizado por Kratzer apresenta melhores resultados para profundidades mais baixas comparativamente ao de Doron. Mas o erro do algoritmo desenvolvido por Kratzer diminui lentamente com a profundidade contrariamente ao pretendido. Sendo assim, conclui-se que o algoritmo que se irá ajustar melhor aos resultados reais é o desenvolvido por Doron, apesar de apresentar resultados pouco favoráveis para baixas profundidades.

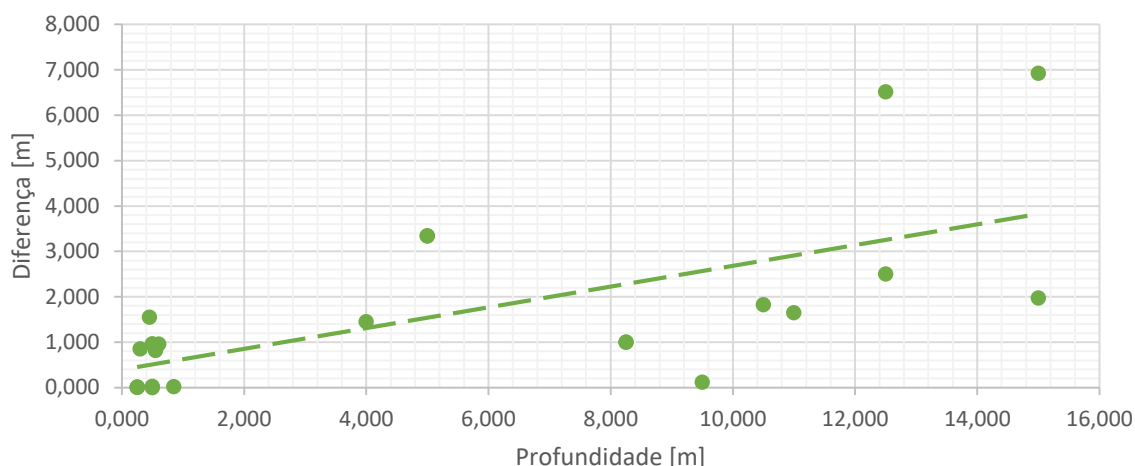


Figura 5.3: Variação da diferença entre os valores dos dois algoritmos com a profundidade.

A Figura 5.3 demonstra a variação da diferença adquirida entre algoritmos com a variação da profundidade. Esta demonstra que com o aumento da profundidade a diferença existente entre eles aumenta.

A Figura 5.4 apresenta a diferença obtida a partir dos algoritmos de *Doron* e de *Kratzer* para cada pacote de imagem. Um dos aspetos a ter em conta nesta análise é que se exclui o Sado. Como apenas tínhamos uma medição de um satélite (*Sentinel 2*) não seria viável inclui-lo nestes resultados, já que não serve como termo comparativo (Tabela 4.5). Procedeu-se à análise e verificou-se que existem duas imagens que aparentam ser *outlier*, nomeadamente LC8...16084, S2_22122015, S2_161403 e LE7....16108, estes apresentam diferenças de profundidade entre algoritmos muito acentuadas ou muito abaixo da média. A existência de *outlier* não se encontra relacionada com os algoritmos, mas sim com as imagens utilizadas. As quais podem apresentar erros de medição ou erros devido à falta da correção atmosférica.

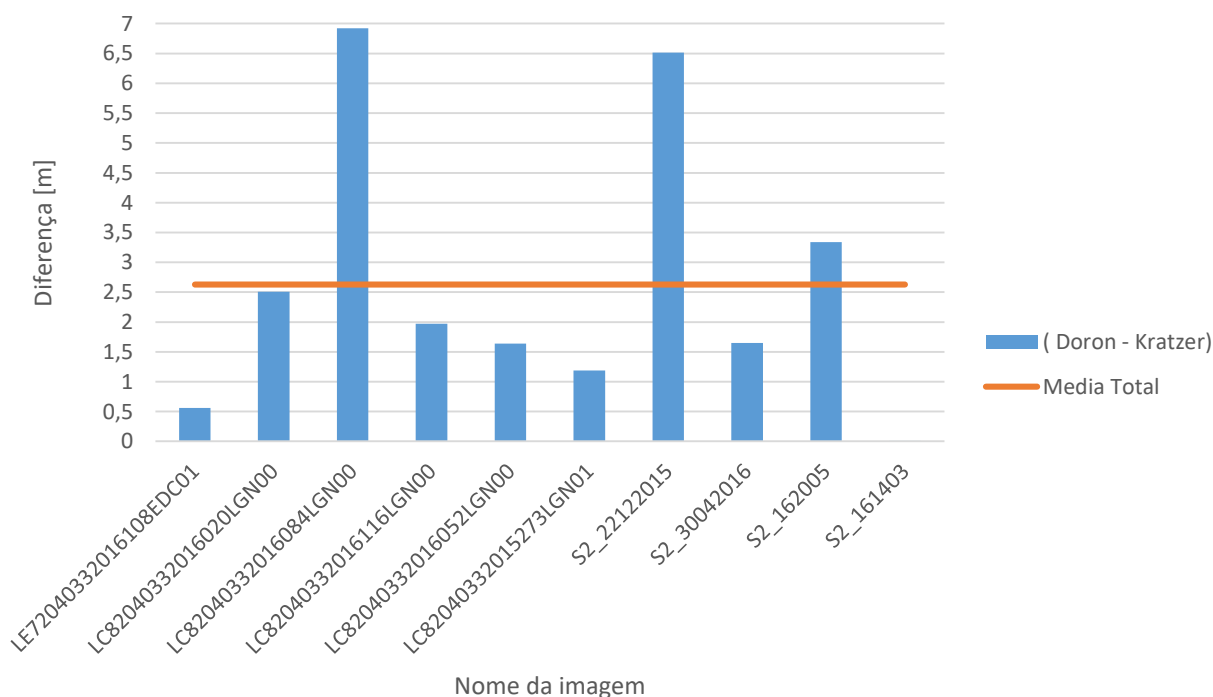


Figura 5.4: Diferença calculada a partir dos algoritmos para cada pacote de imagem (amarelo corresponde ao Landsat 7; verde corresponde ao Landsat 8; azul corresponde ao Sentinel 2). As retas representam a média obtida a partir da diferença entre algoritmos para cada satélite.

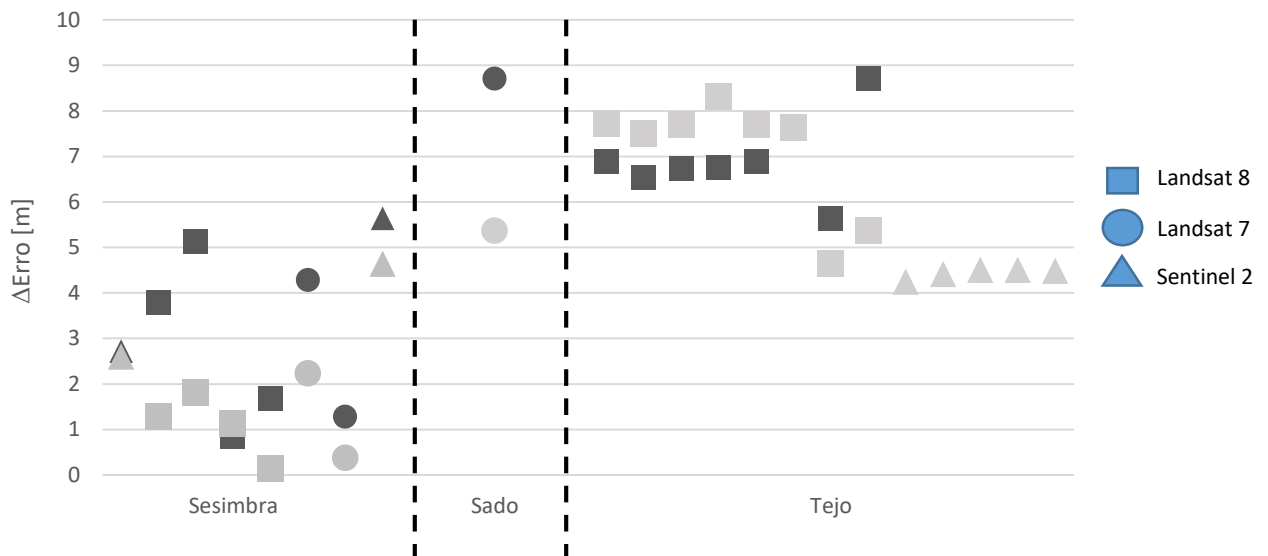





Figura 5.5: Gráfico dos erros obtidos a partir dos algoritmos e dos valores *in situ* (Kratze a preto e Doron a cinza) para cada local de amostragem com os satélites de cada imagem.

A Figura 5.5 representa os resultados obtidos entre os valores modelados e os *in situ* separados por local de amostragem e com os respetivos satélites identificados. Observa-se que de um modo geral o melhor algoritmo para o calculo da profundidade de *Secchi* foi o desenvolvido por *Doron*, uma vez que este apresenta sempre na maioria das vezes os erros mais baixos.

No caso de Sesimbra o satélite que apresenta os melhores resultados é o *Landsat 8*, uma vez que os erros obtidos são os mais baixos entre os três satélites. E no caso do Tejo o melhor satélite é o *Sentinel 2*, apesar de apresentar erros elevados, este resultado pode encontrar-se relacionado com a resolução do satélite e com o intervalo de comprimentos de onda para cada banda e as características específicas daquele local de amostragem. No Sado só se obteve um valor de profundidade para o *Landsat 7*, não podendo sofrer um processo comparativo.

Conclui-se assim que no caso do Tejo o melhor satélite é o *Sentinel 2*, no entanto é de reforçar que a partir do mesmo não é possível obter-se a absorção aos 440 nm, e que no caso de Sesimbra e Sado tanto o *Sentinel-2* como os de *Landsat* apresentam bons resultados.

Tabela 5.2: Representação esquemática dos resultados finais da dissertação

Local	Características	Absorções	Melhor satélite	Melhor algoritmo
<p>Tejo</p> 	<p>O estuário do tejo apresenta zonas de acumulação de sedimentos finos levando à formação de rastos de maré e sapais. É estratificado nas marés mortas e apresenta uma elevada dinâmica.</p>	<p>Exibe elevados valores teóricos de absorção. Estes resultados foram corroborados com os resultados obtidos na parte prática.</p>	<p><i>Sentinel 2</i> apresenta valores mais próximos dos <i>in situ</i>. Este é o único satélite que apresenta valores teóricos mais baixos comparativamente com os reais. No entanto devido ao resample este não é o melhor satélite para o cálculo das absorções.</p>	<p>Os dados apresentados acima demonstram que o algoritmo que apresenta melhores resultados é o desenvolvido por <i>Doron</i> apesar de apresentar resultados pouco favoráveis para baixas profundidades. Esta conclusão foi retirada a partir da curva de tendências demonstrada na Figura 5.2. Na qual a curva de tendência algoritmo desenvolvido por <i>Doron</i> decresce de uma forma mais acentuada com o aumento da profundidade ao contrario da de <i>Kratzer</i>.</p>
<p>Sado</p> 	<p>O estuário do Sado é considerado uma reserva natural devido à fauna e flora que alberga</p>	<p>Mostra valores acentuados de absorção. Mas mais baixos comparativamente aos do Tejo.</p>	<p>De acordo com o valor expectável e os valores obtidos teoricamente, os melhores satélites para o cálculo da profundidade de <i>secchi</i> são o <i>Landsat</i> e <i>Sentinel 2</i>.</p>	
<p>Sesimbra</p> 	<p>Sesimbra é uma zona de orla costeira, conectado diretamente com o oceano Atlântico</p>	<p>Apresenta os valores mais baixos de absorção comparativamente com os restantes locais de amostragem.</p>		

5.1 Profundidade de *Secchi* VS Profundidade Fótica

No presente subcapítulo pretende-se comparar as profundidades de *Secchi* com a profundidade da camada fótica.

Como foi aferido na base teórica é possível adquirir a profundidade da camada fótica, profundidade até onde chega a radiação na coluna de água, através da profundidade de *Secchi* (Figura 5.8). A profundidade de *Secchi* funciona como um proxy da camada fótica através de uma relação empírica, na qual a profundidade fótica é 2.7 a 3 vezes superior à profundidade adquirida a partir do disco de *Secchi*.

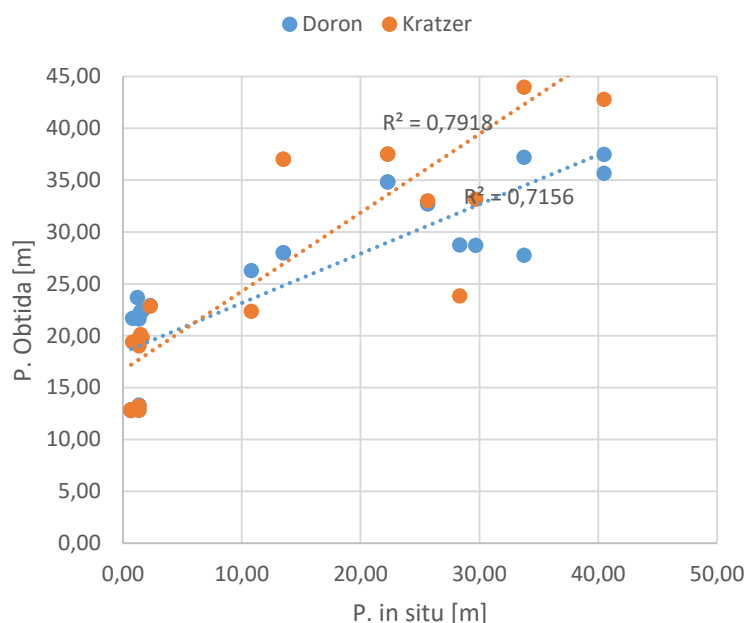


Figura 5.6: Comparação entre os valores obtidos teoricamente e os in situ para cada algoritmo, com as respetivas linhas de tendência para a profundidade da camada fótica.

Quando se aplica a relação empírica aos valores obtidos *in situ* e aos valores modelados a partir dos algoritmos obtém-se a Figura 5.6 (Tabela 5.3).

Tal como na análise realizada anterior verifica-se que as profundidades mais elevadas são verificadas na zona de Sesimbra e as menores no Tejo, também se observa que os resultados ficam á quem dos esperados para o Tejo.

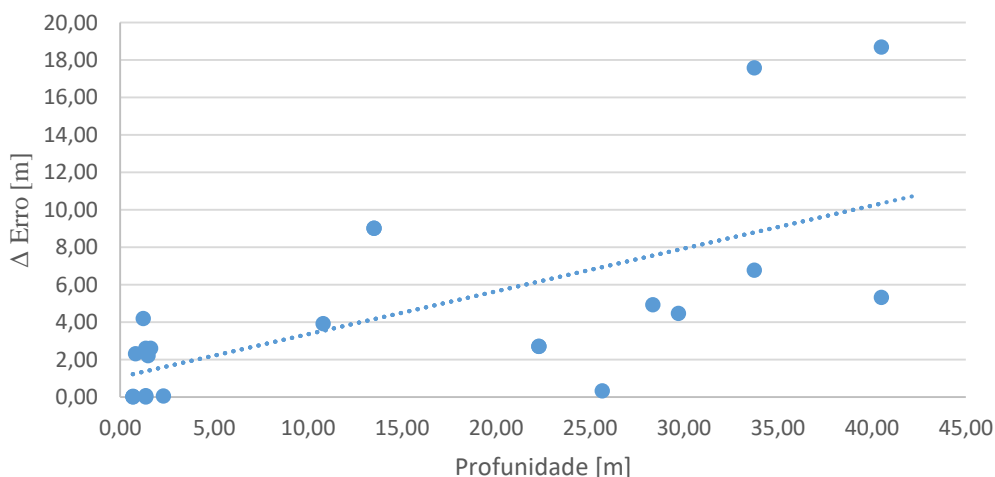


Figura 5.7: Variação da diferença entre os valores dos dois algoritmos com a profundidade.

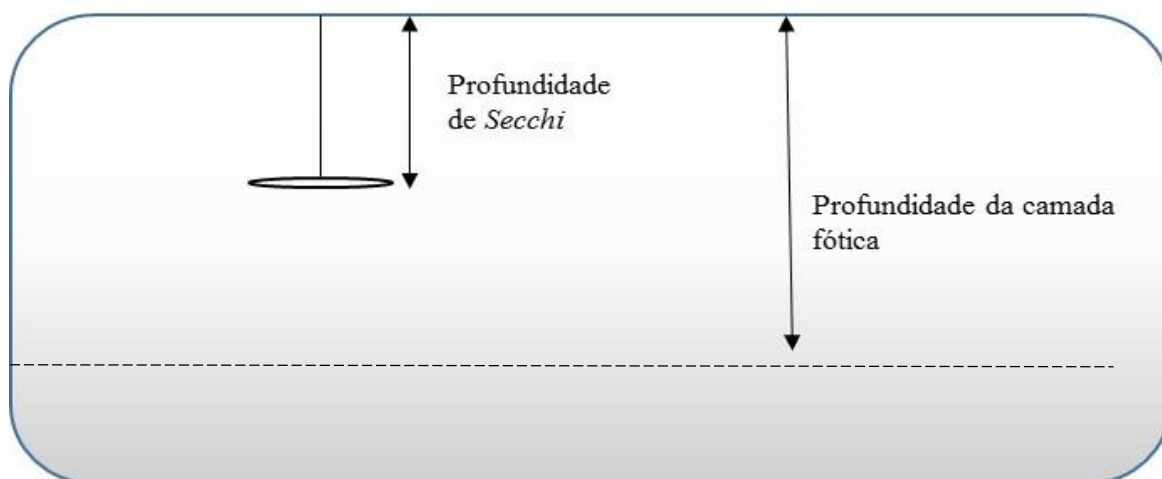


Figura 5.8: Imagem representativa da profundidade medida a partir do disco de Secchi e a profundidade da camada fótica.

Pacote de imagem	Profundidade Fótica <i>in situ</i> [m]	Profundidade Fótica Doron [m]	Profundidade Fótica Kratzer [m]	Diferença entre Doron e Kratzer
LE72040332016108EDC01				
Sesimbra	25,65	32,67	32,99	0,32
LE72040332016108EDC01				
Sesimbra	22,28	34,80	37,50	2,70
LC82040332016020LGN00				
Sesimbra	33,75	37,17	43,93	6,76
LC82040332016084LGN00				
Sesimbra	40,50	35,66	54,35	18,69
LC82040332016116LGN00				
Sesimbra	40,50	37,46	42,78	5,32
LC82040332016052LGN00				
Sesimbra	28,35	28,73	23,81	4,92
S2_20122212				
Sesimbra	33,75	27,73	45,31	17,58
S2_20163004				
Sesimbra	29,70	28,69	33,15	4,45
S2_20162005				
Sado	13,50	27,98	37,00	9,02
LC82040332015273LGN01c				
	0,81	21,66	19,36	2,30
	1,35	21,60	18,99	2,61
	1,62	22,36	19,77	2,59
	1,22	23,65	19,46	4,19
	1,49	22,29	20,08	2,21
	2,30	22,88	22,82	0,06
	22,28	34,80	37,50	2,70
S2_20161403				
	13,50	27,98	37,00	9,02
	1,35	12,80	12,80	0,00
	1,35	13,28	13,20	0,07
	0,68	12,84	12,83	0,01
	0,68	12,84	12,83	0,01
	0,68	12,78	12,75	0,03

Tabela 5.3: Valores das profundidades fóticas obtidas a partir da relação empírica de 2.7 vezes a profundidade de Secchi.

6. Capítulo – Conclusão

Na presente dissertação pretendeu-se verificar algoritmos que permitissem apurar a profundidade de *Secchi*, a partir de imagens retiradas de satélites em zonas costeiras e na foz de rios, tais como Tejo, Sado e Sesimbra.

Os algoritmos utilizados foram, o que *Maéva Doron* [1] adaptou e desenvolveu para estimar a profundidade de *Secchi* a partir de dados de satélite, baseando-se nas características bióticas adquiridas a partir de dados *in situ*; e o realizado por *Susanne Kratzer* [11], específico para estuários e lagos, que relaciona o coeficiente de atenuação aos 490 nm, $K_{d_{490}}$, obtido por satélite com o cálculo empírico da profundidade de *Secchi*.

O presente projeto de tese dividiu-se em duas fases de trabalho. Uma inicial que correspondeu à recolha e tratamento de dados de campo, em que a componente laboratorial incluiu a colheita de dados *in situ* e a sua análise em ambiente laboratorial. A partir destes processos laboratoriais, obteve-se as concentrações das propriedades bio-óticas inerentes, presentes nas águas, que serviram de base para a validação de algoritmos. A segunda fase correspondeu à criação de imagens, originárias do Landsat 7, Landsat 8 e Sentinel 2, com a variação da profundidade de *Secchi* concebidas a partir dos algoritmos.

Através de algoritmos obteve-se a profundidade de *Secchi*. Recorreu-se à utilização da ferramenta *Matlab*, uma vez que este trata os dados de uma forma mais eficiente, e a obtenção das profundidades equivalentes aos valores *in situ* através do software *Qgis*.

Os resultados obtidos a partir das campanhas comprovaram que as propriedades óticas inerentes variam consideravelmente de acordo com o local de amostragem, influenciando a profundidade de *Secchi* medida em cada local. As amostras de SPM obtidas demonstram que profundidades de *Secchi* mais elevadas apresentam concentrações mais baixas de SPM. Foi assim possível observar-se uma tendência, embora baixa, que demonstra que as concentrações de SPM vão diminuindo à medida que a profundidade aumenta, na qual o Tejo apresenta valores de profundidade mais baixos e concentrações mais elevadas. Ao contrário da concentração de clorofila, que não apresenta uma relação direta com a profundidade de *Secchi* (apresentando valores de concentrações semelhantes para profundidades muito distintas).

O espectro de absorção do CDOM indica a variação da concentração de matéria orgânica dissolvida na coluna de água. Notou-se que o Tejo apresenta, em média, um espectro de absorção mais elevado que os restantes. O espectro que apresenta valores mais baixos é o de Sesimbra devido a estar na costa em contacto direto com o oceano, não havendo uma concentração acentuada de CDOM.

O espectro de absorção indica a capacidade de o meio absorver radiação em cada comprimento de onda, em especial nos 440 nm. É de reforçar que parte das amostras obtidas no Tejo foram excluídas pois apresentavam espectros de absorção pouco coerentes e com valores contraditórios. Como se encontra descrito acima (Resultados da análise laboratorial), foram inumerados vários fatores que podem ter servido como causa para esta disparidade de resultados. Entre os quais destacam-se: os cálculos/metodologia laboratorial não serem adequados para amostras de campo, o material em suspensão nas águas e a própria dinâmica do seu estuário.

Uma análise geral aos resultados práticos obtidos é expectável obter absorções mais elevadas em zonas estuarinas do que em zonas costeiras. Já que estas apresentam concentrações de propriedades óticas inerentes mais acentuadas.

Esta análise é corroborada com as imagens da absorção (440 nm [31]) obtidas a partir dos algoritmos desenvolvidos para o *Landsat 7 e 8*. Verificou-se valores mais elevados em zonas costeiras e estuarinas, nomeadamente o Tejo e Sado ao contrário do oceano aberto e zonas costeiras, Sesimbra (Figura 4.12). Esta variação é fundamentada com a existência de uma maior concentração de substâncias/partículas presentes nas áreas estuarinas, ao contrário das zonas oceânicas, nas quais as concentrações são mais baixas. Confirma-se igualmente que em zonas com valores de absorções mais

acentuados apresentam profundidades de *Secchi* mais baixas, como é o caso do Tejo. Enquanto que profundidades mais elevadas apresentam absorções mais baixas, Sesimbra.

Comparou-se os resultados obtidos entre algoritmos e conclui-se que o algoritmo que apresenta melhores resultados comparativamente aos dados *in situ* foi o desenvolvido por Doron. A sua curva de tendência vai diminuindo à medida que a profundidade *in situ* vai aumentando, enquanto que a curva de tendência obtida para o algoritmo desenvolvido por Susanne Kratzer [2] vai diminuindo mas mais ligeiramente à medida que a profundidade aumenta (Figura 5.1). Concluindo-se que o melhor algoritmo para a obtenção da profundidade de *Secchi* modelada é o de Maéva Doron [1].

Conclui-se assim que no caso do Tejo o melhor satélite é o *Sentinel 2*, no entanto não é possível obter-se a absorção aos 440 nm. Uma vez que este apresenta uma melhor resolução espacial que os *Landsat*, nas bandas do visível e NIR, e o intervalo de comprimentos de onda das bandas que o *Sentinel 2* lê são mais pequenos comparativamente ao *Landsat*. No caso de Sesimbra e Sado tanto o *Sentinel* 2 como os *Landsat* apresentam bons resultados.

Do estudo desta tese conclui-se que é possível obter a profundidade de *Secchi* para a costa portuguesa a partir de algoritmos, no entanto não houve dados *in-situ* suficientes para fazer uma validação correta dos resultados dos algoritmos para ter confiança nos resultados dos mesmos. Os resultados demonstram uma boa possibilidade de utilização destes algoritmos, mas mais estudos com dados *in-situ* serão necessários para uma conclusão final da aplicabilidade e precisão dos algoritmos estudados.

6.1 Melhoramentos e Sugestões

Após a conclusão verificou-se a necessidade de realizar melhoramentos. Considerou-se que estes aspetos seriam uma mais valia para uma análise mais pormenorizada e posterior recriação/continuação do projeto.

Um dos fatores que mais influenciou o estudo realizado foi a quantidade de campanhas executadas e as amostragens *in situ*. Estas medições servem como base da validação dos algoritmos utilizados, sendo assim, é essencial proceder-se à aquisição de um elevado número de dados que suportem a análise executada. No entanto, no presente projeto de tese, isso não se verificou. A escassez de dados deveu-se essencialmente à falta de condições meteorológicas e à falta de dados provenientes das escolas de mergulho (com exceção da escola de mergulho Nautilus sedeadada em Sesimbra).

É assim proposto a criação de um banco de dados (e.g. <http://www.secchidisk.org/>). No qual as escolas de mergulho, alunos da faculdade, investigadores e pessoas interessadas possam disponibilizar dados de profundidade de *Secchi* que podem vir a ser relevantes para diversas áreas de investigação. Haveria assim a possibilidade de cooperação para estudos oceanográficos da costa Portuguesa, que neste momento são diminutos. Esta ideia surgiu ao travar conhecimento com uma das escolas de mergulho (Nautilus), que demonstraram um elevado interesse/disponibilidade no desenvolvimento desta dissertação, e explicaram que seria uma mais valia para eles os dados da profundidade de *Secchi*, que são essenciais para a realização desta atividade de recreio. Poderia assim haver um mapeamento da costa portuguesa com dados *in situ* facilmente acessíveis.

Um dos factores que necessita de ser melhorado é a realização uma análise das imagens de satélite com a correção atmosférica. Para estudar qual o impacto que a correção atmosférica poderia ter na precisão dos resultados. É um ponto importante a referir uma vez que a contribuição atmosférica é significativa na alteração das radiâncias obtidas.

Outro fator que poderia ser mais trabalhado é a criação de um programa que facilitasse o tratamento das imagens. Este teria uma janela interativa na qual seria possível escolher o satélite utilizado e as imagens que se pretendiam, e este disponibilizava os dados de Profundidade de *Secchi* para ambos os

algoritmos, e outros cálculos necessários como por exemplo a absorção aos 440 nm. Esta proposta é feita devido ao tempo que cada imagem demorava a ser processada e ao espaço que estas ocupavam.

A comparação realizada entre dados obtidos de campanhas e valores teóricos obtidos a partir dos algoritmos ficou aquém do esperado, não só porque era um ano chuvoso (2015/2016), como também a existência de neblina sobre o Tejo, devida à poluição e condições meteorológicas. O Tejo foi considerado como um local complexo para a aquisição de dados já que este apresenta uma elevada atividade estuarina (apanha de amêijoas, entrada e saída de barcos de grande porte), a corrente que este apresenta na maré baixa (elevada carga de sedimento em suspensão), ser estratificado nas marés mortas (apresenta uma camada de água salobra e água oceânica) e a sua rápida instabilidade. Estes fatores influenciam os dados laboratoriais adquiridos, apresentando uma inconstância muito considerável em relação aos dados obtidos a partir dos algoritmos. Não sendo um dos locais mais aconselháveis para a validação de algoritmos devido a sua dinâmica. Considera-se assim que seria uma mais valia no futuro realizar estes tipos de análises em zonas costeiras e/ou Sado. E também é aconselhável a realização de um aperfeiçoamento dos algoritmos para as zonas em questão, já que são zonas de elevada dinâmica.

Bibliografia

- [1] M. Doron, M. Babin, O. Hembise, A. Mangin, and P. Garnesson, "Ocean transparency from space: Validation of algorithms estimating Secchi depth using MERIS, MODIS and SeaWiFS data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 115, no. 12, pp. 2986–3001, 2011.
- [2] S. Kratzer, C. Brockmann, and G. Moore, "Using MERIS full resolution data to monitor coastal waters - A case study from Himmerfjorden, a fjord-like bay in the northwestern Baltic Sea," *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 5, pp. 2284–2300, 2008.
- [3] J. T. O. Kirk, *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 1983.
- [4] T. Harvey, "Bio-optics and Satellite Remote Sensing in Baltic Sea Ecosystems - Applications for Monitoring and Management," 2005.
- [5] J. M. Wright, A. Colling, and G. Bearman, *Seawater: its Composition, Properties and Behaviour*. 2013.
- [6] S. Kratzer, E. Therese Harvey, and P. Philipson, "The use of ocean color remote sensing in integrated coastal zone management-A case study from Himmerfjorden, Sweden," *Mar. Policy*, vol. 43, pp. 29–39, 2014.
- [7] P. L. Brezonik, L. G. Olmanson, M. E. Bauer, and S. M. Kloiber, "Measuring Water Clarity and Quality in Minnesota Lakes and Rivers: A Census-Based Approach Using Remote-Sensing Techniques," *Cura Report.*, pp. 3–13, 2007.
- [8] K. E. Sawaya, L. G. Olmanson, N. J. Heinert, P. L. Brezonik, and M. E. Bauer, "Extending satellite remote sensing to local scales: Land and water resource monitoring using high-resolution imagery," *Remote Sens. Environ.*, vol. 88, no. 1–2, pp. 144–156, 2003.
- [9] P. Brezonik, K. D. Menken, and M. Bauer, "Landsat-based remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM)," *Lake Reserv. Manag.*, vol. 21, no. 4, pp. 373–382, 2005.
- [10] A. Morel and L. Prieur, "Analysis of variations in ocean color," *Limnol. Oceanogr.*, vol. 22, no. 4, pp. 709–722, 1977.
- [11] S. Kratzer, C. Brockmann, and G. Moore, "Using MERIS full resolution data to monitor coastal waters - A case study from Himmerfjorden, a fjord-like bay in the northwestern Baltic Sea," *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 5, pp. 2284–2300, 2008.
- [12] A. C. Brito, A. Sutcliffe, C. Sá, D. Boutov, F. Sousa, and V. Brotas, *DETECÇÃO REMOTA : TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E COR DO OCEANO*. 2015.
- [13] S. W. Jefferey, R. F. C. Mantoura, and S. W. Wright, *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. 1997.
- [14] E. T. Harvey, S. Kratzer, J. Walve, B. Karlson, and A. Andersson, "The effect of optical properties on Secchi depth and implications for eutrophication management," *Manuscr. PhD thesis Bio-optics, Satell. Remote Sens. Balt. Sea Ecosyst. – Appl. Monit. Manag. ISBN 978-91-7649-219-2*, 2015.
- [15] B. Wozniak and J. Dera, *Light absorption in sea water*, vol. 33. 2007.
- [16] L. Otto, "Light attenuation in the north sea and the Dutch Wadden sea in relation to secchi disc visibility and suspended matter," *Netherlands J. Sea Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 28–51, Mar. 1966.
- [17] E. Capuzzo, D. Stephens, T. Silva, J. Barry, and R. M. Forster, "Decrease in water clarity of the southern and central North Sea during the 20th century," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 21, no. 6, pp. 2206–2214, 2015.
- [18] E. Kari, J. M. Beltrán-Abaunza, E. T. Harvey, and S. Kratzer, "Retrieval of suspended particulate matter from turbidity– model development, validation, and application to MERIS data over the Baltic Sea," *Submitt. to Remote Sens. Environ.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–21, 2015.

- [19] M. R. Wernand, "On the history of the Secchi disc," *J. Eur. Opt. Soc.*, vol. 5, 2010.
- [20] J. E. Tyler, "OCEANOGRAPHY," vol. XIII, no. January, 1968.
- [21] Cialdi and P. A. Secchi, "Sur la transparence de la mer," *Acad. des Sci.*, vol. 61, pp. 100–104, 1865.
- [22] W. Hou, Z. Lee, and A. D. Weidemann, "Why does the Secchi disk disappear? An imaging perspective.," *Opt. Express*, vol. 15, no. 6, pp. 2791–802, 2007.
- [23] R. W. Preisendorfer, "Secchi disk science: Visual optics of natural waters," *Limnol. Oceanogr.*, vol. 31, no. 5, pp. 909–926, 1986.
- [24] E. Aas, J. Høkedal, and K. Sørensen, "Secchi depth in the Oslofjord–Skagerrak area: theory, experiments and relationships to other quantities," *Ocean Sci.*, vol. 10, pp. 177–199, 2014.
- [25] D. Wang, X. Feng, R. Ma, and G. Kang, "A method for retrieving water-leaving radiance from Landsat TM image in Taihu Lake, East China," *Chinese Geogr. Sci.*, vol. 17, no. 4, pp. 364–369, 2007.
- [26] A. Morel and J. L. Mueller, *Normalized Water-Leaving Radiance and Remote Sensing Reflectance: Bidirectional Reflectance and Other Factors*, no. August. 2000.
- [27] Z. P. Lee, K. P. Du, and R. Arnone, "A model for the diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance," *J. Geophys. Res. C Ocean.*, vol. 110, no. 2, pp. 1–10, 2005.
- [28] Z. Lee, K. L. Carder, and R. a Arnone, "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters.," *Appl. Opt.*, vol. 41, no. 27, pp. 5755–72, 2002.
- [29] Z. Lee, K. L. Carder, C. D. Mobley, R. G. Steward, and J. S. Patch, "Hyperspectral remote sensing for shallow waters. 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization.," *Appl. Opt.*, vol. 38, no. 18, pp. 3831–43, 1999.
- [30] H. R. Gordon *et al.*, "A semianalytic radiance model of ocean color," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 93, no. D9, pp. 10909–10924, 1988.
- [31] Z. P. Lee, M. Darecki, K. L. Carder, C. O. Davis, D. Stramski, and W. J. Rhea, "Diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance: An evaluation of remote sensing methods," *J. Geophys. Res. C Ocean.*, vol. 110, no. 2, pp. 1–9, 2005.
- [32] A. Morel, "Optical properties of pure water and pure sea water," *Optical aspects of oceanography*, vol. 1. pp. 1–24, 1974.
- [33] Y.-J. Park and K. Ruddick, "Model of remote-sensing reflectance including bidirectional effects for case 1 and case 2 waters.," *Appl. Opt.*, vol. 44, no. 7, pp. 1236–49, 2005.
- [34] ESA, "MERIS - Earth Online - ESA." [Online]. Available: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/meris>. [Accessed: 09-Mar-2017].
- [35] E. T. Harvey, S. Kratzer, and P. Philipson, "Satellite-based water quality monitoring for improved spatial and temporal retrieval of chlorophyll-a in coastal waters," *Remote Sens. Environ.*, vol. 158, pp. 417–430, 2015.
- [36] P. Freire and C. Andrade, "Caracterização das praias estuarinas do tejo," *Actas do 8º Congr. da água*, p. 12, 2008.
- [37] C. D. Mobley and L. K. Sundman, *Hydrolight Guide*. 2001.
- [38] C. J. Lorenzen, "Determination of Chlorophyll and Pheo-Pigments: Spectrophotometric Equations," *Limnol. Oceanogr.*, vol. 12, no. 1961, pp. 343–346, 1967.
- [39] M. Babin and D. Stramski, "Light absorption by aquatic particles in the near-infrared spectral region," *Am. Soc. Limnol. Oceanogr.*, vol. 47, no. 3, pp. 911–915, 2002.

- [40] L. G. Olmanson, M. E. Bauer, and P. L. Brezonik, “Remote Sensing of Environment A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota’s 10,000 lakes,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, pp. 4086–4097, 2008.
- [41] EarthExplorer, “EarthExplorer.” [Online]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. [Accessed: 08-Mar-2017].
- [42] European Space Agency, “User Guides - Sentinel-2 MSI - Product Types - Sentinel Online.” [Online]. Available: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>. [Accessed: 08-Mar-2017].
- [43] A. Gatti, A. Bertolini, C. Nasuti, and F. Carriero, *Sentinel-2 Products Specification*. 2015.
- [44] N. A. and S. Administration and Landsat, *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. 2006.
- [45] K. Zanter, *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 1.0 June 2015*, vol. 8, no. June. 2015.
- [46] C. D. Mobley, “Light and Water. Radiative Transfer in Natural Waters.,” no. March, p. 592, 1994.
- [47] ESA, “ESA.” [Online]. Available: <http://www.esa.int/ESA>. [Accessed: 08-Mar-2017].
- [48] ESA (European Space Agency), “SNAP | STEP.” [Online]. Available: <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>. [Accessed: 23-Mar-2017].
- [49] ESA (European Space Agency), “Sen2Cor | STEP.” [Online]. Available: <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>. [Accessed: 23-Mar-2017].
- [50] MathWorks, “MATLAB - MathWorks.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Accessed: 08-Mar-2017].

Anexos

Anexo A – Protocolo da análise da matéria em suspensão

A matéria em suspensão (SPM) encontra-se relacionada com todas as substâncias particuladas presentes na água. Esta é constituída por uma componente não planctónica, matéria húmica particulada (originária de solos ou algas já decompostas) e partículas minerais provenientes dos solos ou de sedimentos.

A componente inorgânica do SPM difunde vários comprimentos de onda. O seu espectro de absorção representa uma curva, aproximadamente logarítmica, que decresce dos azuis para os vermelhos [4].

Metodologia:

Preparação dos filtros:

- Os filtros usados apresentam um poro de 0,7 μm e um diâmetro de 47 mm (Whatman GF/C). Estes são pré-aquecidos a 450°C durante uma hora.
- São lavados (com água MilliQ), de forma a retirar todas as fibras e materiais que possam comprometer a pesagem após o processo de filtragem da amostra.
- A secagem dos filtros é realizada no forno de ar quente a 75°C durante uma hora.
- Os filtros são reservados num exsiccador.
- Proceder à pesagem dos filtros, com pelo menos 5 casas decimais.
-

A)



B)



C)



Material usado para o processamento das amostragens provenientes das campanhas. A) Balança de precisão, B) Excicador, C) Mufla.

Processo de filtragem:

- A amostra deve de ser filtrada o mais depressa possível após a sua recolha (0,5L). Esta é filtrada a partir de uma rampa de filtração ligada a uma bomba.
- Após a filtragem o recipiente, no qual se processa a filtragem, tem de ser lavado abundantemente com água destilada, pelo menos 50 ml.
- Os filtros devem de ser colocados em recipientes, previamente identificados, e secados num forno a 75°C durante 24 horas.
- Os filtros são colocados num exsicador antes de serem pesados (não se pesam quentes, pois alteram o valor da pesagem).

Processo de queima:

- Após a primeira pesagem dos filtros, já com a amostra filtrada, estes são colocados na mufla, (450°C durante 4 horas) de forma a queimar a matéria orgânica presente no filtro.
- Proceder de novo à pesagem da amostra.

Cálculos:

Os cálculos para a determinação da matéria em suspensão são realizados a partir da diferença entre o peso do filtro antes e após o processo de filtragem.

$$TSM_{com\ matéria\ orgânica} (g \cdot m^{-3}) = P_{filtrado\ pré\ mufla} - P_{não\ filtrado}$$

$$TSM_{sem\ matéria\ orgânica} (g \cdot m^{-3}) = P_{filtrado\ pós\ mufla} - P_{não\ filtrado}$$

A partir da diferença dos dois é possível quantificar a matéria orgânica resente na amostra.

$$TSM(g \cdot m^{-3}) = TSM_{com\ matéria\ orgânica} - TSM_{sem\ matéria\ orgânica}$$

Referências:

- REVAMP methodologies- EVG1-CT-2001-00049;
- Harvey, T., 2015, Bio-optics and Satellite Remote Sensing in Baltic Sea Ecosystems- Applications for Monitoring and Management.

Anexo B – protocolo de processamento de matéria orgânica em suspensão

O maior componente de carbono orgânico dissolvido (DOC) é a matéria orgânica dissolvida colorada (CDOM), também denominada de substância amarela. Esta absorve certos comprimentos de onda do visível, apresentando assim uma cor amarelada-acastanhada proveniente da decomposição da matéria orgânica, por parte dos microrganismos.

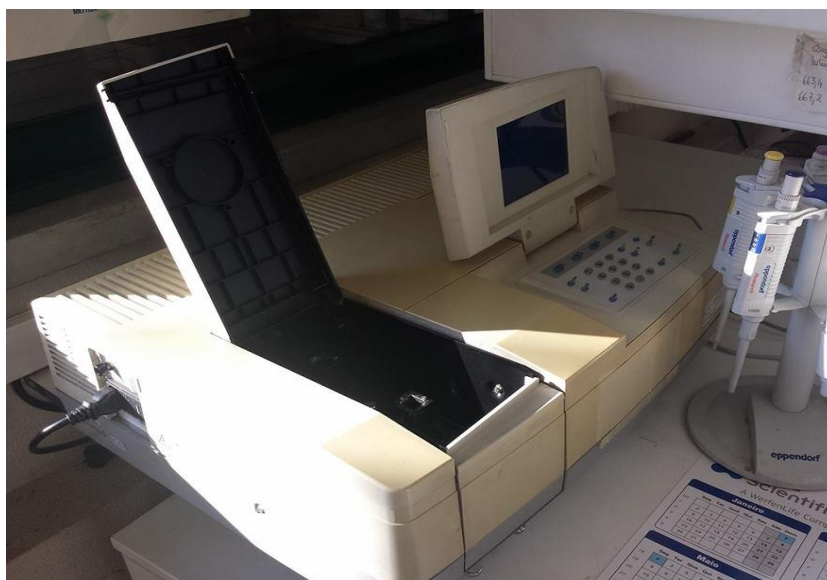
Metodologia:

Preparação da amostra:

- No mesmo dia que a amostra é recolhida, deve passar pelo processo de filtração. Filtra-se assim 100 ml (filtro de 2µm com um diâmetro de 47 mm, Whatman) de cada uma das amostras e coloca-se a amostra filtrada em frascos. Após cada filtração das amostras, é necessário filtrar 100 ml de água destilada de forma a retirar as impurezas presentes no material de filtração.
- As amostras são embrulhadas em papel de alumínio e colocadas no frigorífico (estas têm que ser tratadas pelo menos dois dias após a sua recolha).
- Envolver o frasco da amostra com papel de alumínio, e colocá-lo no frigorífico (4°C). É de salientar que esta degrada-se facilmente, tendo de ser tratada o mais rapidamente possível.

Processo do espectrofotómetro:

- De forma a iniciar-se o processo de medição no espectrofotómetro é necessário realizar a primeira medição com água MilliQ, realizando-se o *autozero* entre 350 até 800 nm.
- Após este processo a “cuvette” é lavada com a amostra que se pretende medir (a lavagem deve de ser realizada pelo menos duas ou três vezes). É de reforçar que entre replicados de cada amostra é necessário limpar a “cuvette” com água MilliQ e posteriormente aplicar a amostra. Quando se muda de estação de amostragem, caso seja necessário, volta-se a calibrar o aparelho.



Espectrofotómetro usado para o processamento das amostragens provenientes das campanhas.

Cálculos:

A partir dos dados é possível calcular o coeficiente de absorção do CDOM, este é calculado a partir da equação abaixo descrita no comprimento de onda de 440 nm.

$$a_{ys}(\lambda) = 2.303 \times \frac{A_{ys}(\lambda)}{L}$$

Variáveis:

$a_{ys}(\lambda)$ - Coeficiente de absorção.

L - Passo ótico da “cuvette”.

$A_{ys}(\lambda)$ - Absorção medida no comprimento de onda λ (440 nm).

Referências:

- REVAMP methodologies – EVG1 – CT – 2001 – 00049
- Tilstone G.H. , Martinez Vicente. V., Sørensen K., Röttgers R., Høkedal J.; AN INTER-COMPARISON OF COLOURED DISSOLVED ORGANIC MATERIAL AND PHYTOPLANKTON ABSORPTION COEFFICIENTS: IMPLICATIONS FOR MERIS DATA VALIDATION.
- Sedmon et al, Optical properties and signatures of chromophil dissolved organic matter (CDOM) in Danish costal waters, *ELSEVIER*, 51, p. 267-278, 2000.
- Kirk, J. T. O. 2011. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 3rd ed. Cambridge,UK, New York: Cambridge University Press.

Anexo C – Protocolo de processamento do Fitoplâncton (concentração de clorofila_a e de feopigmentos ($\mu\text{g.L}^{-1}$))

A absorção, por parte do fitoplâncton, é realizada através dos seus pigmentos fotossintéticos. O espectro de absorção varia com o total dos pigmentos fotossintéticos e a concentração das espécies presentes nas águas. A sua concentração é obtida através do método do espectrofotômetro.

Metodologia:

Processo de filtração:

- A amostra deve ser filtrada o mais depressa possível após a sua recolha (0,5L dependendo da concentração da amostra). Esta é filtrada a partir de uma bomba de vácuo, com o filtro de 0,7 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro (Whatman GF/F), o qual deve de ser colocado com o lado menos rugoso para cima.
- Após o processo de filtração, o filtro deve ser retirado cuidadosamente com a pinça e colocado num tubo de centrifuga, sem dobrar e envolto em papel de alumínio.
- Após a filtração, o recipiente no qual se processa a filtração tem de ser lavado, abundantemente, com água destilada.
- As amostras devem de ser revestidas com películas de alumínio e congeladas a -80°C .

Preparação da amostra filtrada:

- Os tubos com as amostras, são retirados da arca -80°C .
- Adiciona-se a cada amostra 3 mL de Acetona ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) a 90%.
- A amostra com filtro é macerada e adicionam-se mais 3 mL de Acetona (6 mL no total). É necessário um repouso durante 24 horas no congelador a uma temperatura de -20°C .

Processo do espectrofotômetro:

- Após esperar 24 h os tubos são agitados vigorosamente e centrifugados, a 3000 rpm durante 15 min.
- É necessário acertar o zero do aparelho com acetona a 90%.
- Para o cálculo da clorofila é necessário ler a absorvância a 750 nm que serve como teste para verificar a existência de poeiras em suspensão (o valor obtido deve rondar 0.015-0.020, caso contrario é necessário voltar a centrifugar o extrato). Para os cálculos é necessário que se retirem os valores da absorvância a 664 e 750 nm.
- Do material obtido a partir da centrifugação, retira-se parte da amostra e coloca-se na “cuvette” iniciando-se o processo de leitura.
- Após a leitura inicial, adiciona-se 12 μl de HCl (concentração de 0,5M) por cada extrato e agita-se durante, pelo menos, 1 min. De seguida volta-se a ler a absorvância nos comprimentos de onda acima descritos.
- Entre cada amostra é necessário lavar as “cuvettes” com água destilada e 0,4 ml de acetona.



Centrifugadora de laboratório usada para o processamento das amostragens provenientes das campanhas.

Cálculos:

Os cálculos para a obtenção da concentração da clorofila a e feofitina são os seguintes [38]:

$$Chl\ a(\mu gL^{-1}) = \frac{A \times K \times [(A_{664} - A_{750}) - (A_{664\ \acute{a}cido} - A_{750\ \acute{a}cido})] \times v}{V \times L}$$

$$Feoigmentos\ (\mu gL^{-1}) = \frac{A \times K \times [R(A_{664\ \acute{a}cido} - A_{750\ \acute{a}cido}) - (A_{664} - A_{750})] \times v}{V \times L}$$

Variáveis:

K – 2,25, fator destinado a estabelecer a concentração inicial em clorofila a partir da redução da absorvância.

A₆₆₄- absorvância da amostra a 664 nm.

A_{664 ácido} - absorvência da amostra com ácido a 664 nm.

A₇₅₀ - absorvência da amostra a 750 nm.

A_{750 ácido} - absorvência da amostra com ácido a 750 nm.

V - Volume de acetona usado para a extração (ml).

L - Passo ótico da “cuvette”.

A – Inverso do coeficiente de extinção ara a clorofila a em acetona do 90%, a 664 nm, 87,67 Lg⁻¹cm⁻¹, o seu valor é de 11,4 L⁻¹mg cm.

R- Valor máximo da razão A₆₆₄/A_{664a} na ausência de feopigmentos, é dado por 1,8.

Referências:

- REVAMP methodologies
- Lorenzen, C J (1967). *Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations*. Limnol. Oceanogr. **12**: 343-346

Anexo D – Protocolo de Absorção, medição da absorvância no espectrofotômetro

A análise consiste na medição da fração de luz que passa pelo filtro obtendo-se a absorvância do filtro, que posteriormente é transformada de forma a dar o equivalente ao coeficiente de absorção (m^{-1}).

Metodologia:

Processo de filtragem:

- A amostra deve de ser filtrada o mais depressa possível após a sua recolha (250mL). Esta é filtrada a partir de uma bomba de vácuo, com o filtro de $0,7 \mu m$ de porosidade e 25 mm de diâmetro (GF/F), o qual deve de ser colocado com o lado menos rugoso para cima.
- Após o processo de filtragem, o filtro deve ser retirado cuidadosamente com a pinça e colocado num tubo de centrífuga, sem dobrar e envolto em papel de alumínio.
- Após a filtragem o recipiente, no qual se processa a filtragem, deve ser lavado, abundantemente, com água destilada.
- As amostras devem de ser revestidas com películas de alumínio e congeladas a $-80^{\circ}C$.

Processo do espectrofotômetro:

- Retiram-se as amostras da arca $-80^{\circ}C$ e colocam-se numa caixa de petri, com umas gotas de água MilliQ para que o filtro adira à base da caixa. Os filtros devem ser guardados no escuro até a sua utilização.
- Procede-se a criação dos “Branco”, amostras que servem para calibração. Filtrar 250 mL de água MilliQ através de dois filtros, iguais aos utilizados para filtrar as amostras. Colocar os filtros na parede do aparelho, de forma a se proceder à sua leitura (pretende-se que se leia os comprimentos de onda no intervalo 800-350 nm com um intervalo de 0,5 nm, colocar no botão Auto Zero e Baseline de forma a iniciar a leitura).
- Colocar os filtros das amostras no aparelho e proceder à sua leitura da absorvância total.
- Após a medição da absorvância total, adicionar a cada amostra 3 mL de NaClO (hipoclorito de sódio) a 1%, esperar cerca de 3 minutos para que se dê a dissolução da matéria orgânica contida na amostra.
- Filtra-se a amostra, com os 3 ml de NaClO, e repete-se o passo anterior, mas com um branco com NaClO, de forma a realizar a calibração.
- Procede-se à leitura das amostras com NaClO, absorvância da matéria inorgânica. As leituras só são fiáveis se o pico da clorofila, aos 660 nm desaparecer, caso contrário é necessário adicionar mais NaClO e proceder-se a um novo processo de filtragem.

Cálculos:

Os cálculos representados correspondem aos utilizados no Excel. No primeiro passo realiza-se a média entre os comprimentos de onda de 730 a 750 nm para cada uma das amostras, este valor é posteriormente subtraído ao valor de absorção de cada comprimento de onda Cx .

$$C_{Anull} = Cx - \frac{\sum_{730:750} Cx}{750 - 730}$$

O mesmo é realizado com os “Branco”. Esta equação e a equação anterior são igualmente aplicadas para as amostras ($C_{AnullNaClO}$) e “Branco” ($B_{AnullNaClO}$) com hipoclorito de sódio.

$$B_{Anull} = Bx - \frac{\sum_{730:750} Bx}{750 - 730}$$

De seguida subtrai-se os valores dos “Branco” ao das amostras.

$$C_{Anull_{blk_{corr}}} = C_{Anull} - B_{Anull}$$

$$C_{NaClO_{Anull_{blk_{corr}}}} = C_{Anull_{NaClO}} - B_{Anull_{NaClO}}$$

Aos valores de absorção realiza-se o B_correction realizado por Stramski e Babin [39].

$$B_{corr} = 2.303 \times \frac{C_{Anull_{blk_{corr}}}}{2 \times \frac{V}{A}}$$

$$B_{NaClO_{corr}} = 2.303 \times \frac{C_{NaClO_{Anull_{blk_{corr}}}}}{2 \times \frac{V}{A}}$$

Procede-se á diferença entre a amostra original pela amostra com hipoclorito de sódio, ambas já com a correção aplicada.

$$C_{alfa} = B_{corr} - B_{NaClO_{corr}}$$

Variáveis:

Cx - Valor de absorção de cada comprimento de onda (x) para cada uma das amostras.

Bx - Valor de absorção de cada comprimento de onda (x) para cada um dos “Branco”.

V – Valor do volume de amostra filtrado.

A – Área do filtro.

Referências:

- REVAMP methodologies – EVG1 – CT – 2001 – 00049ta
- Babin, M & Stramski, D, 2002, Light absorption by aquatic particles in the near-infrared spectral region, Limnol. Oceanogr., 47, 911–15. 82,85

Anexo E – Relatórios das campanhas

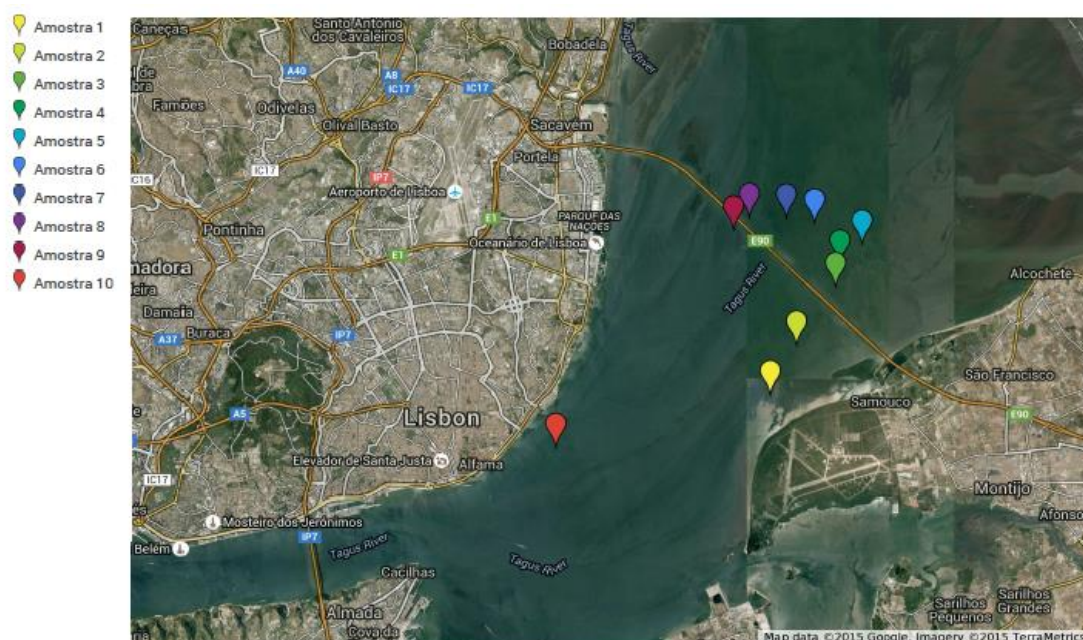
No presente anexo encontra-se uma descrição detalhada de cada uma das campanhas realizadas na presente dissertação. Encontram-se assim narrados os locais de amostragem, a hora de saída e as entidades que permitiram a realização de cada campanha.

Foi importante descrever os locais de amostragem, já que podia haver fatores externos ao meio que pudessem de algum modo influenciar as amostras.

Estipularam-se, igualmente, os materiais que seriam utilizados nas saídas, tais como: um funil com rede para filtrar zooplâncton e detritos presentes nas águas, um balde de forma a recolher a água com mais facilidade, o disco de *Secchi* para medir a profundidade da cama da fótica, um GPS para localizar o local de amostragem e o radiómetro para medir a radiação em profundidade. Foi conveniente verificar os materiais antes das saídas de forma a acautelar eventuais problemas no campo.

Saída de 30/9/2015

A saída de 30 de setembro de 2015 realizou-se na bacia do Rio Tejo. Esta foi realizada com o João Ramajal, que forneceu o barco “Jaleca”, que na altura encontrava-se a fazer um estudo sobre a apanha de ameijoas no Tejo. Estipulou-se que iriam ser realizadas 10 amostragens. Foram assim reservados 10 garrafões com uma capacidade de 9 L para o efeito.



Localização das amostragens realizadas a 30 setembro de 2015 (Imagem retirada do Google Earth)

Saiu-se da marina de Cacilhas por volta das 10h e 30 min. As condições meteorológicas apresentavam um céu com poucas nuvens e vento fraco. Verificou-se que a preia-mar era às 5h27 (4,23 m) e a baixa-mar às 11h12 (0,31 m). Iniciou-se a viagem na variante mais larga do rio, denominado de mar da Palha, no flanco de Alcochete. Na zona das duas primeiras amostras observou-se que a água apresentava uma cor acastanhada, indicando elevada concentração de material em suspensão. Algumas das amostras foram realizadas a norte da ponte Vasco da Gama mas as amostras 9 e 10 abaixo da ponte, no centro da bacia.

A chegada à Faculdade deu-se por volta da uma/duas da tarde, e procedeu-se logo ao tratamento das amostras. Os dados obtidos encontram-se denominados de 30092015.

Características do local de amostragem.

Amostra	Dia	Hora da Colheita	Características Do dia	Observações <i>in situ</i>	Localização		Profundidade De <i>Secchi</i> (cm)	Volume (L)
					Latitude (N)	Longitude (W)		
1	30/09/2015	10:57	Céu limpo	Água Acastanhada	8° 43.64'	9° 2.55'	25	8-9
2	30/09/2015	11:28	“	Água Acastanhada	8° 44.34'	9° 2.09'	30	8-9
3	30/09/2015	12:04	“	Menos Turva	8° 45.17'	9° 1.4'	50	8-9
4	30/09/2015	12:54	“	Menos turva	8° 45.49'	9° 1.32'	45	8-9
5	30/09/2015	12:49	“	“	8° 45.77'	9° 0.93'	48	8-9
6	30/09/2015	12:59	“	“	8° 46.07'	9° 1.77'	50	8-9
7	30/09/2015	13:02	“	“	8° 46.14'	9° 2.27'	60	8-9
8	30/09/2015	13:07	“	“	8° 46.15'	9° 2.92'	45	8-9
9	30/09/2015	13:17	“	“	8° 45.97'	9° 3.2'	55	8-9
10	30/09/2015	13:41	“	“	8° 42.89'	9° 6.34'	85	8-9

Amostra de 26/1/2016

A amostragem realizada no dia 26 de janeiro de 2016 foi recolhida às 17h, na Baía do Seixal. Verificou-se que a preia-mar era às 16h57 (3,48 m) e a baixa-mar às 22h36 (0,65 m). O local de amostragem não foi localizado com GPS, por isso arranjou-se uma localização aproximada do mesmo a partir do Google Maps. A profundidade fótica não foi medida.

Na análise realizada apenas se mediu o SPM, CDOM e a clorofila. A amostra foi denominada de 26012016.



Localização da amostra de 26 Janeiro de 2016 (Imagem retirada do Google Earth)

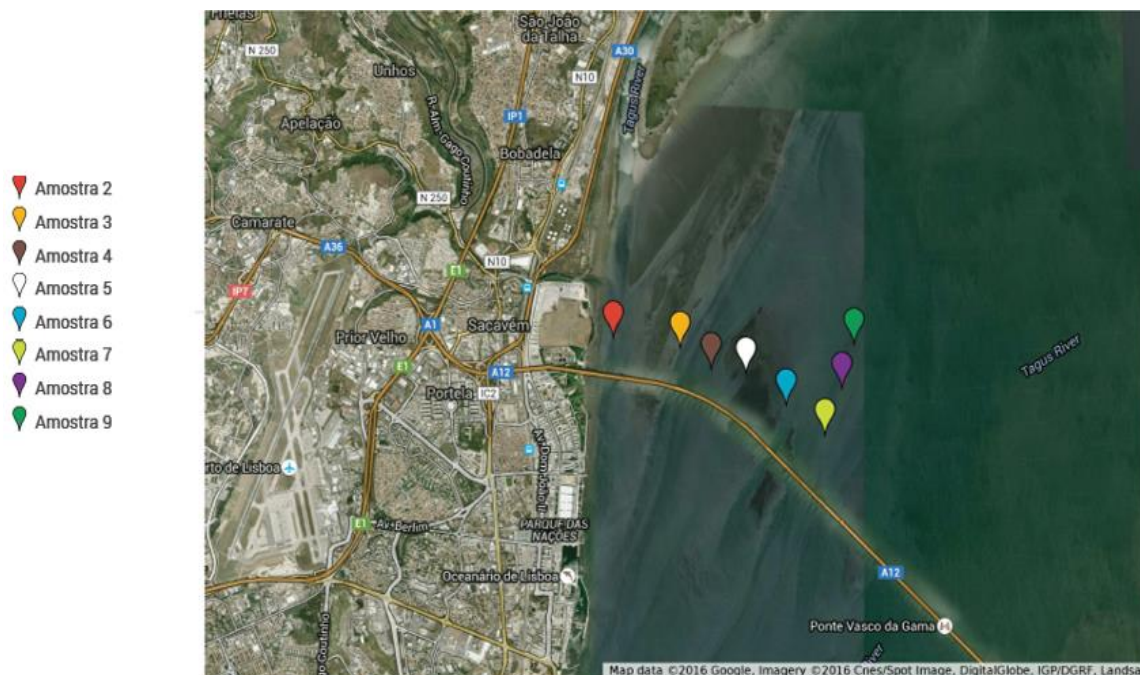
Características do local de amostragem

Amostra	Dia	Hora	Características Do dia	Observações <i>in situ</i>	Localização	
					Latitude (N)	Longitude (W)
1	26/01/2016	17	Nublado chuvoso, com abertas	Praia mar	38,648284	-9,102211

Saída de 14/3/2016

A saída de 14 de março de 2016 realizou-se na bacia do Rio Tejo, sendo o transporte a cargo dos bombeiros de Sacavém. Foram realizadas 8 amostragens na parte norte, ao longo da ponte Vasco da Gama. Foram assim reservados 9 garrações com uma capacidade de 9 L para o efeito.

Iniciou-se a saída na Marinha do Parque das Nações, a partir da qual nos deslocamos para norte, acima da ponte Vasco da Gama. As restantes foram realizadas ao longo mesma à exceção das últimas duas que se realizaram mais para norte (no meio da bacia). A primeira amostra foi denominada de Amostra 2, devido à marcação existente nos garrações.



Localização das amostragens retiradas a 14 de Março de 2016 (Imagens retiradas do Google Earth)

À medida que as amostras iam sendo realizadas observou-se a influência dos mariscadores no meio local. Esta intervenção tornou-se mais evidente a partir da amostra 5. Estes empregavam redes de arrasto levantando sedimentos de fundo. A corrente apresentava muita força, pelo que a medição com o disco de *Secchi* foi complicada. A amostra foi denominada de 14032016.

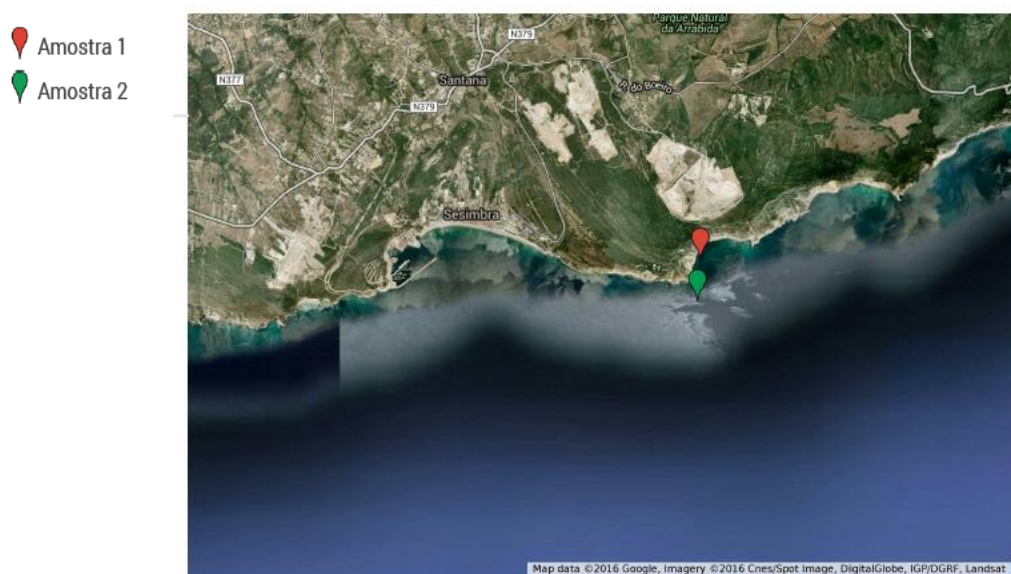
características do local de amostragem, a amostra 3 não contém profundidade se Secchi não foi possível proceder à sua medição.

Amostra	Dia	Hora	Características Do dia	Observações <i>in situ</i>	Localização		Profundidade De <i>Secchi</i> (cm)	Volume (L)
					Latitude (N)	Longitude (W)		
2	14/03/2016	09:55	Céu limpo/calmo Poucas nuvens/baixa-mar	Água Acastanhada	38°47'23,4 ,,	9°5' 13,2''	75	8-9
3	14/03/2016	10:25	""/Corrente muito forte	,	38°47'19,2 ,,	9° 4'37,2''	x	8-9
4	14/03/2016	10:35	"/Corrente aumenta	,	38°47'10,8 ,,	9°4' 20,4''	25	8-9
5	14/03/2016	10:47	,	,	38°47'8,98 8''	9°4'1,704''	25-50	8-9
6	14/03/2016	10:55	,	,	38°46'56,4 ,,	9°3' 40,2''	50	8-9
7	14/03/2016	11:07	,	,	38°46'44,4 ,,	9°3' 19,2''	25	8-9
8	14/03/2016	11:16	,	,	38° 47'3''	9°3' 10,2''	25	8-9
9	14/03/2016	13:17	,	,	38°47'20,5 ,,	9°3'3,636''	25	8-9

Saída de 17/4/2016

A saída de 17 de abril de 2016 realizou-se em Sesimbra em parceria com a escola de mergulho Nautilus de Sesimbra. Verificou-se que a baixa-mar era às 6h41 (1,13 m) e a preia-mar às 12h51 (2,76 m). Estipulou-se que iriam ser realizadas 2 amostragens ao largo da costa. Foram assim reservados 2 garrafões com uma capacidade de 9 L para o efeito.

Iniciou-se a saída na Marina de Sesimbra, a partir da qual nos deslocamos para este. Os locais foram escolhidos de acordo com a necessidade dos mergulhadores. A amostra foi denominada de 17042016.



Localização das amostragens realizadas a 17 de Abril de 2016 (Imagens retiradas de Google Earth)

Características do local de amostragem, a amostra 1 não contém profundidade se Secchi não foi possível proceder à sua medição.

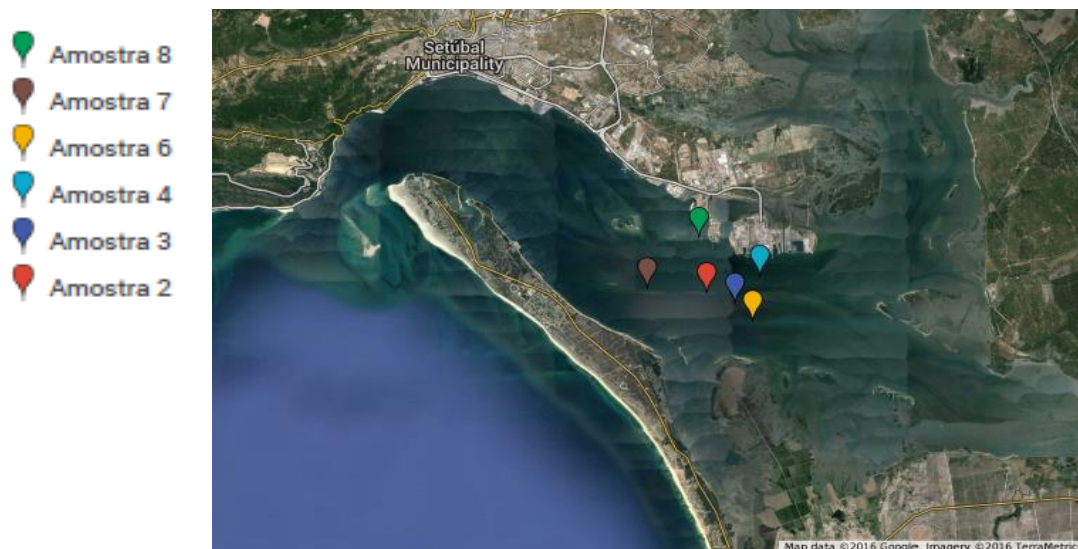
Amostra	Dia	Hora da colheita	Características Ddo dia	Observações <i>in situ</i>	Localização		Profundidade De Secchi (cm)	Volume (L)
					Latitude (N)	Longitude (W)		
1	17/04 /2016	12:20	Céu limpo / Calmo/poucas nuvens/ Maré a subir	Água Esverdeada	38° 26' 17.4"	9° 3' 45"	x	8-9
2	17/04 /2016	12:50	''	,	38° 25' 57.6"	9° 3' 46.8"	8.25	8-9

Saída de 20/5/2016

A saída de 20 de maio de 2016 realizou-se na bacia do Rio Sado em parceria com o ICNF.

Verificou-se que a baixa-mar era às 8h53 (0,82 m) e a preia-mar às 15h07 (3,22 m). Estipulou-se que iriam ser realizadas 6 amostragens. Foram assim reservados 6 garrafões com uma capacidade de 9 L para o efeito.

Iniciou-se a saída no Boat Center, a partir da qual nos deslocamos para a foz. As amostras foram realizadas à medida que se iam fazendo as contagens dos golfinhos. Só foi possível a realização de uma medição de profundidade de *Secchi* devido ao extravio do disco. A amostra foi denominada de 20052016.



Localização das amostragens realizadas a 20 de Maio de 2016 (Imagens retirada de Google Earth)

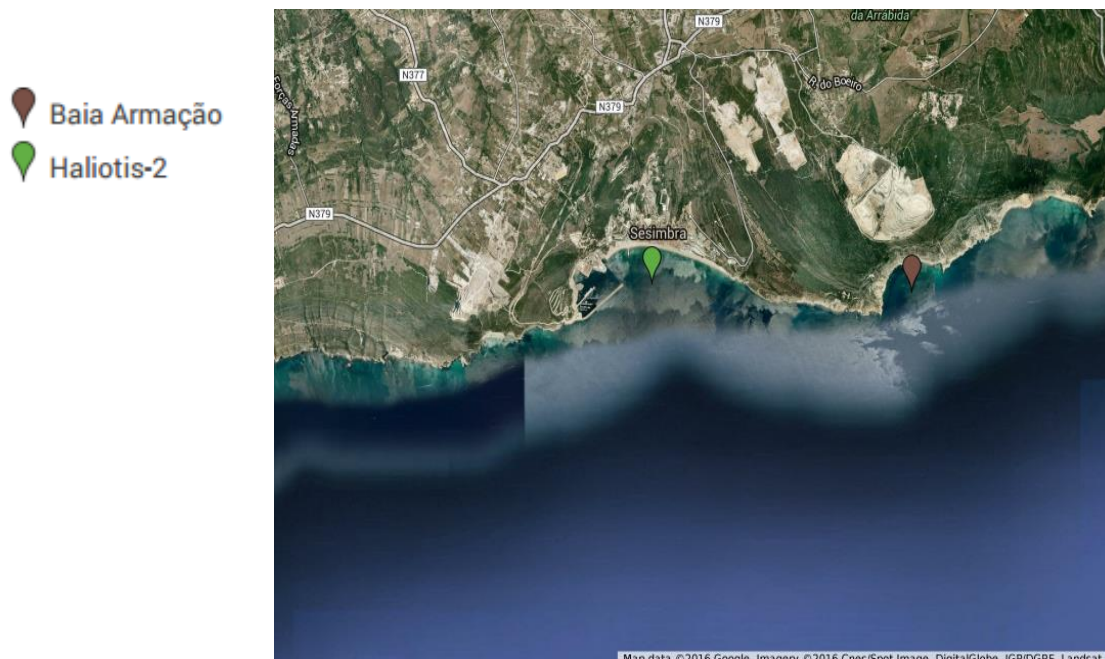
Características do local de amostragem, só a amostra 8 contém profundidade de Secchi, não foi possível proceder à sua medição das restantes.

Amostra	Dia	Hora da colheita	Característica Do dia	Localização		Profundidade De Secchi (m)	Volume (L)
				Latitude (N)	Longitude (W)		
2	20/05/2016	12:23	Céu limpo	38° 27' 41, 4"	8° 48' 37,2"	x	8-9
3	20/05/2016	12:18	Céu limpo	38° 27' 31,2"	8° 48' 4,8"	x	8-9
4	20/05/2016	11:20	Céu limpo	38° 27' 58,2"	8° 47' 36"	x	8-9
6	20/05/2016	11:30	Céu limpo	38° 27' 14,4"	8° 47' 44,4"	x	8-9
7	20/05/2016	12:40	Céu limpo	38° 27' 46,2"	8° 49' 45,6'	x	8-9
8	20/05/2016	11:08	Céu limpo	38° 28' 35,4"	8° 48' 46,2"	5	8-9

Saída de 26/6/2016

A saída de 26 de junho de 2016 realizou-se em Sesimbra em parceria com a escola de mergulho Nautilus de Sesimbra. Verificou-se que a preia-mar era às 7h29 (2,90 m) e a baixa-mar às 13h30 (1,08 m). Estipulou-se que ia ser realizada 1 amostragens ao largo da costa. Foram assim reservados 2 garrafões com uma capacidade de 9 L para o efeito.

Iniciou-se a saída na Marinha de Sesimbra, a partir da qual nos deslocamos para este. Os locais foram escolhidos de acordo com a necessidade dos mergulhadores. A amostra foi denominada de 26062016.



Localização das amostragens realizadas a 26 Junho de 2016 (Imagem retirada de Google Earth)

Características do local de amostragem.

Amostra	Dia	Hora da colheita	Características Do dia	Localização		Profundidade <i>Secchi</i> (m)	Volume (L)
				Latitude (N)	Longitude (W)		
1	26/06/2016	11:50	Céu limpo Calmo Poucas nuvens	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	10	8-9
2	26/06/2016	12:46	''	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"	14	8-9

Saída de 15/7/2016

A saída de 15 de Julho de 2016 realizou-se na bacia do Rio Sado e foi realizada em parceria com o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

Verificou-se que a baixa-mar era às 6h17 (1,26 m) e a preia-mar às 12h37 (2,78 m). Estipulou-se que iriam ser realizadas 4 amostragens. Foram assim reservados 4 garrafões com uma capacidade de 9 L para o efeito.

Iniciou-se a saída no Boat Center, a partir da qual nos deslocamos para a foz. As amostras foram realizadas à medida que se iam fazendo as contagens dos golfinhos. A amostra foi denominada de 15072016.



Localização das amostragens realizadas a 15 de Julho de 2016 (Imagem retirada de Google Earth)

Características do local de amostragem.

Amostra	Dia	Hora da colheita	Características Do dia	Localização		Profundidade De <i>Secchi</i> (m)	Volume (L)
				Latitude (N)	Longitude (W)		
1	15/07/2016	09:27	Céu limpo	38° 28' 39"	8° 51' 30"	2	8-9
3	15/07/2016	10:01	Céu limpo	38° 28' 7,8"	8° 50' 6"	3	8-9
5	15/07/2016	10:19	Céu limpo	38° 27'44,4"	8° 47' 36"	4,25	8-9
7	15/07/2016	10:08	Céu limpo	38° 27' 47,4"	8° 48' 57,6"	4	8-9

Anexo F – Material fornecido às escolas de mergulho

Descrição teórica

O que é o fitoplâncton:

O fitoplâncton é o conjunto de organismos microscópicos (microalgas) com capacidade fotossintética, que se encontram dispersos na coluna de água (sendo os principais produtores primários do oceano).

A sua história:

O disco de *Secchi* foi criado por Pietro Angelo *Secchi*, um padre astrofísico, com o objetivo de medir a transparência da água no mar Mediterrâneo, no ano de 1865.

Características do disco de *Secchi*:

O disco de *Secchi* é formado por um disco branco com um diâmetro de 30 cm, que pode ser de plástico ou de metal. Este encontra-se ligado a uma corda marcada, em metros, e com um peso de 200 g ligado à outra extremidade (para ir ao fundo).

Para que serve:

O disco de *Secchi* é usado para medir a profundidade de *Secchi*, profundidade a partir da qual o disco deixa de ser observado no interior da coluna de água. A profundidade do disco de *Secchi* é uma medida indicativa da turbidez da água, e por sua vez relaciona-se com a quantidade de fitoplâncton e de matéria particulada em suspensão presente na coluna de água.

Modo de utilização:

- A medição terá de ser realizada de costas para o sol.
- É aconselhável a não utilização de óculos de sol, já que estes afetam os resultados obtidos.
- As medições só devem de ser realizadas em dias de sol ou de céu parcialmente nublado.
- O disco convém ser largado na vertical.
- Os locais de amostragem são aqueles onde não se observe o fundo do mar.
- O disco deve-se encontrar limpo para não afetar os resultados.
- De forma a se proceder a uma medição mais exata, é aconselhável realizar mais do que uma medida por local
- É necessário marcar o ponto onde se realizou a medição através de GPS, e anotar a hora da medição.
- A melhor hora do dia para se proceder à medição da profundidade é entre as 10 h e as 14 h.

Calendário da passagem do satélite

NOVEMBRO 2015

SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
						1
2	3 (manhã)	4	5	6	7	8 (manhã)
9 (manhã)	10 (manhã)	11	12	13 (manhã)	14	15 (manhã)
16 (manhã)	17	18	19	20 (manhã)	21	22
23 (manhã)	24 (manhã)	25 (manhã)	26	27	28	29
30 (manhã)		NOTAS:				

DEZEMBRO 2015

SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
	1 (manhã)	2 (manhã)	3 (manhã)	4	5	6
7	8	9	10 (manhã)	11 (manhã)	12	13 (manhã)
14	15	16	17 (manhã)	18 (manhã)	19	20 (manhã)
21	22	23 (manhã)	24	25	26 (manhã)	27 (manhã)
28	29	30 (manhã)	31			
		NOTAS:				

JANEIRO 2016

SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
				1	2 (manhã)	3 (manhã)
4	5	6	7	8	9 (manhã)	10
11 (manhã)	12 (manhã)	13	14	15	16	17
18 (manhã)	19 (manhã)	20	21	22 (manhã)	23	24
25	26	27 (manhã)	28 (manhã)	29 (manhã)	30	31
		NOTAS:				

FEVEREIRO 2016

SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
1 (manhã)	2	3 (manhã)	4 (manhã)	5	6	7
8 (manhã)	9	10	11 (manhã)	12 (manhã)	13 (manhã)	14
15	16	17	18 (manhã)	19 (manhã)	20 (manhã)	21 (manhã)
22	23	24	25	26	27	28 (manhã)
29 (manhã)		NOTAS:				

MARÇO 2016

SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
	1	2 (manhã)	3	4	5	6 (manhã)
7 (manhã)	8	9 (manhã)	10	11	12 (manhã)	13
14	15 (manhã)	16 (manhã)	17	18	19 (manhã)	20
21	22 (manhã)	23 (manhã)	24	25	26	27
28	29 (manhã)	30	31 (manhã)			
		NOTAS:				

ABRIL 2016

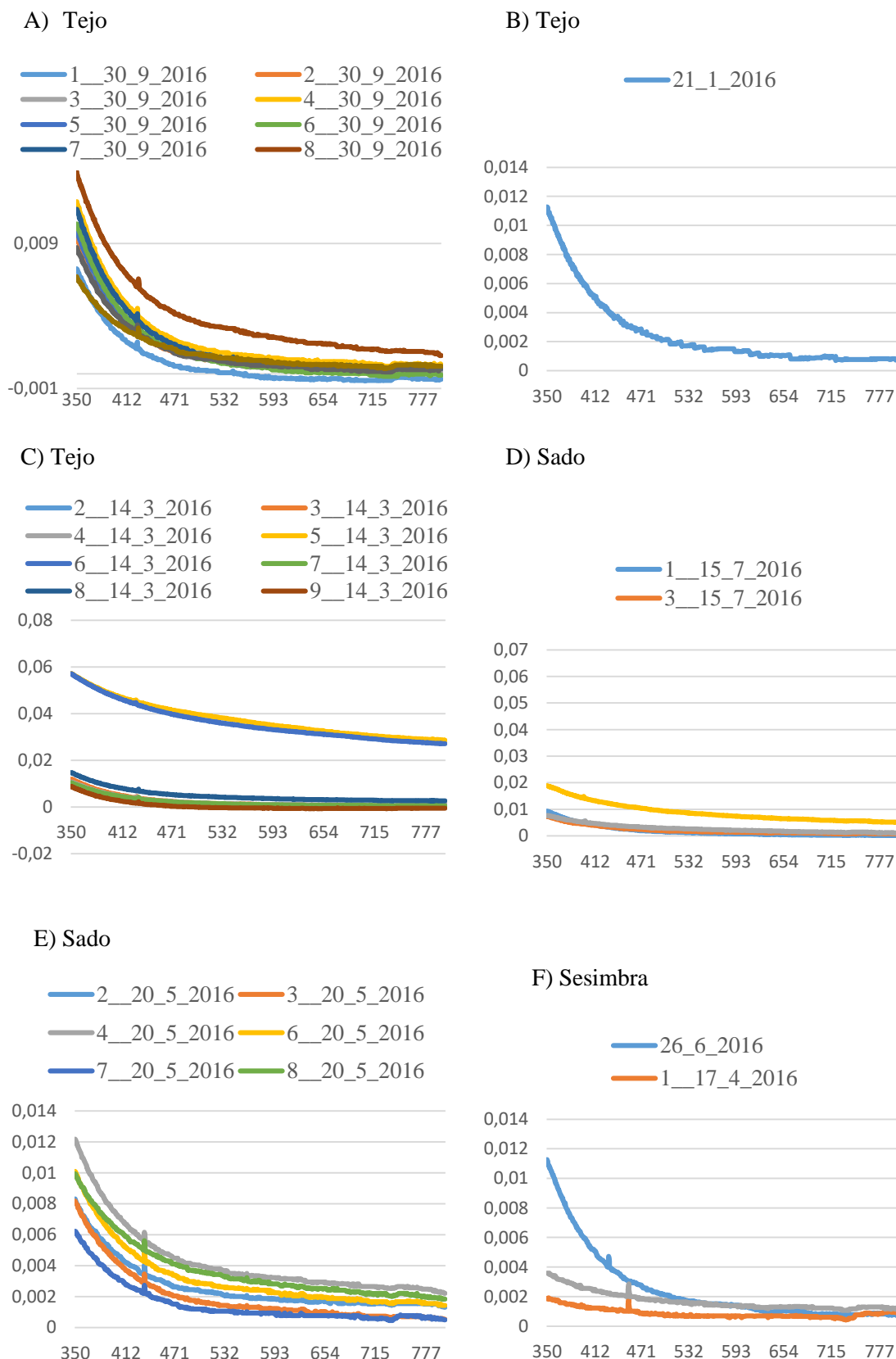
SEGUNDA-FEIRA	TERÇA-FEIRA	QUARTA-FEIRA	QUINTA-FEIRA	SEXTA-FEIRA	SÁBADO	DOMINGO
				1 (manhã)	2	3
4	5	6	7 (manhã)	8 (manhã)	9	10
11 (manhã)	12	13	14	15	16 (manhã)	17 (manhã) (tarde)
18 (manhã)	19	20	21 (manhã)	22	23 (manhã)	24 (manhã)
25	26	27	28 (manhã)	29	30	
		NOTAS:				

Formulário Tabela de amostragem:

Escola de mergulho: _____ ; Local _____

Data	Hora	Localização		Profundidade	Notas Ex: Estado do mar (agitado/calmo) Ceú Claro/Nuvens dispersas/Enovoadado
		Latitude	Longitude		

Anexo G – Espectros de absorção do CDOM para cada amostragem



Representação dos espectros de CDOM para cada uma das campanhas realizadas, estes encontram-se representados pela absorção [m^{-1}] por comprimento de onda [nm]. A, B e C) Tejo, D e E) Sado e F) Sesimbra. Nota-se escalas diferentes.

Anexo H – Medições realizadas

Total das medições realizadas pelas escolas de mergulho com a localização e a profundidade de Secchi medida.

Escola	Data	Hora	P.Secchi (m)	Local	Latitude (N)	Longitude (W)
HALIOTIS 1	25/nov/15	11:15:00	10	Sesimbra	38° 26'4,38"	9° 4'1,8"
HALIOTIS 2	25/nov/15	13:30:00	7,0	Sesimbra	38° 26'18,3"	9° 6'9,12"
HALIOTIS 3	28/nov/15	14:26:00	7,0	Sesimbra	38° 26'4,92"	9° 4'1,86"
HALIOTIS 4	29/nov/15	10:30:00	6,5	Sesimbra	38° 23'2,46"	9° 11'0,612"
HALIOTIS 5	29/nov/15	14:20:00	6	Sesimbra	38° 26'16,14"	9° 3'45,36"
Nautilus	05/dez/15	12:35:00	11,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	06/dez/15	12:15:00	9,0	Pedra Leão	38° 26'4,38"	9° 4'4,32"
Nautilus	12/dez/15	11:20:00	11,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	22/dez/15	12:50:00	12,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	26/dez/15	12:54:00	15,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	29/dez/15	12:30:00	5,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	17/jan/16	16:00:00	10,5	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
Nautilus	20/jan/16	14:45:00	12,5	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
Nautilus	23/jan/16	12:25:00	9	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	30/jan/16	13:00:00	9,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	31/jan/16	12:50:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	06/fev/16	12:05:00	12,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	07/fev/16	11:50:00	10,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	13/fev/16	12:05:00	10,50	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
Nautilus	20/fev/16	13:00:00	8,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
HALIOTIS	21/fev/16	11:00:00	4	Peniche	39° 24'47,34"	9°38'20,88"
Nautilus	21/fev/16	12:45:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	05/mar/16	12:50:00	11	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	06/mar/16	12:45:00	10	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"

Nautilus	10/mar/16	12:30:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	12/mar/16	12:54:00	14	Boia do Parque	38° 26' 19,26"	9° 3'0,96"
Nautilus	13/mar/16	12:45:00	11,5	Boia do Parque	38° 26' 19,26"	9° 3'0,96"
Nautilus	20/mar/16	12:55:00	11,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	24/mar/16	12:10:00	+15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	25/mar/16	13:30:00	+15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	26/mar/16	12:20:00	10	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
Nautilus	27/mar/16	12:10:00	9,0	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"
Nautilus	02/abr/16	12:25:00	9,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	09/abr/16	12:00:00	13,0	Fora Leão	38° 26' 0"	9° 4' 6"
Nautilus	17/abr/16	12:15:00	9,50	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"
Nautilus	23/abr/16	12:55:00	8,0	Tanque	38° 25' 43,08"	9° 9' 40,5"
Nautilus	24/abr/16	13:05:00	14,0	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"
Nautilus	25/abr/16	12:10:00	15,0	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"
Nautilus	30/abr/16	12:20:00	11,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	01/mai/16	12:20:00	10,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	14/mai/16	12:55:00	10,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	15/mai/16	13:20:00	14,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	21/mai/16	12:00:00	7,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	22/mai/16	12:00:00	11,75	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	26/mai/16	11:55:00	11,00	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	28/mai/16	12:10:00	11,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	29/mai/16	12:50:00	13,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	31/mai/16	12:30:00	12,00	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"

Medições realizadas na zona de Boia Baía com a respetiva média e desvio-padrão.

Escola	Data	Hora	P. <i>Secchi</i> (m)	Local	Latitude (N)	Longitude (W)	Média	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
HALIOTIS 2	25/nov/15	13:30:00	7	Sesimbra	38° 26'18,3"	9° 6'9,12"				
Nautilus	17/jan/16	16:00:00	10,50	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"				
Nautilus	20/jan/16	14:45:00	12,50	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"				
Nautilus	13/fev/16	12:05:00	10,50	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"	10,90	1,240967365	12,5	7
Nautilus	26/mar/16	12:20:00	10	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"				
Nautilus	27/mar/16	12:10:00	9,00	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"				
Nautilus	31/mai/16	12:30:00	12	Boia Baía	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"				

Medições realizadas na zona de zona Atlântico com a respetiva média e desvio-padrão.

Escola	Data	Hora	P. <i>Secchi</i> (m)	Local	Latitude (N)	Longitude (W)	Média	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
HALIOTIS 4	29/nov/15	10:30:00	6,50	Sesimbra	38° 23'2,46"	9° 11'0,612"				
Nautilus	17/abr/16	12:15:00	9,50	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"				
Nautilus	24/abr/16	13:05:00	14,00	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"	11,25	3,436931771	15,00	6,50
Nautilus	25/abr/16	12:10:00	15,00	River Popa	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"				
Nautilus	23/abr/16	12:55:00	8,0	Tanque	38° 25' 43,08"	9° 9' 40,5"				

Medições realizadas na zona de Baía Armação com a respetiva média e desvio-padrão.

Escola	Data	Hora	P.Secchi(m)	Local	Latitude (N)	Longitude (W)	Média	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
HALIOTIS 1	25/nov/15	11:15:00	10	Sesimbra	38° 26'4,38"	9° 4'1,8"	10,42	2,199536988	15	5,5
HALIOTIS 3	28/nov/15	14:26:00	7	Sesimbra	38° 26'4,92"	9° 4'1,86"				
HALIOTIS 5	29/nov/15	14:20:00	6	Sesimbra	38° 26'16,14"	9° 3'45,36"				
Nautilus	05/dez/15	12:35:00	11,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	06/dez/15	12:15:00	9	Pedra Leão	38° 26'4,38"	9° 4'4,32"				
Nautilus	12/dez/15	11:20:00	11,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	22/dez/15	12:50:00	12,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	26/dez/15	12:54:00	15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	29/dez/15	12:30:00	5,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	23/jan/16	12:25:00	9	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	30/jan/16	13:00:00	9,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	31/jan/16	12:50:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	06/fev/16	12:05:00	12	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	07/fev/16	11:50:00	10	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	20/fev/16	13:00:00	8,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	21/fev/16	12:45:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				
Nautilus	05/mar/16	12:50:00	11	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"				

Nautilus	06/mar/16	12:45:00	10	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	10/mar/16	12:30:00	10,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	12/mar/16	12:54:00	14	Boia do Parque	38° 26' 19,26"	9° 3'0,96"
Nautilus	13/mar/16	12:45:00	11,5	Boia do Parque	38° 26' 19,26"	9° 3'0,96"
Nautilus	20/mar/16	12:55:00	11	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	24/mar/16	12:10:00	+15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	25/mar/16	13:30:00	+15	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	02/abr/16	12:25:00	9,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	09/abr/16	12:00:00	13,0	Fora Leão	38° 26' 0"	9° 4' 6"
Nautilus	30/abr/16	12:20:00	11,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	01/mai/16	12:20:00	10,50	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	14/mai/16	12:55:00	10,0	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	15/mai/16	13:20:00	14,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	21/mai/16	12:00:00	7,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	22/mai/16	12:00:00	11,75	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	26/mai/16	11:55:00	11	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	28/mai/16	12:10:00	11,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"
Nautilus	29/mai/16	12:50:00	13,5	Baía Armação	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"

Anexo I– Medições modeladas e *in situ*

Pacotes de imagens com os respetivos resultados teóricos e reais recolhidos durante as amostragens.

Satélite	Pacote da imagem	Data	Latitude (N)	Longitude (W)	P.S. Reais (m)	P. S. Modelada (m)	
						Z_{sd}	$Z_{sd_{doce}}$
Landsat 7	LE72040332016108EDC01	17/04/2016	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	9,5	12,1	12,22
	LC82040332016020LGN00	20/01/2016	38° 26'3,48"	9° 6'20,28"	12,5	13,767	16,272
	LC82040332016084LGN00	24/03/2016	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	15	13,206	20,13
Landsat 8	LC82040332016116LGN00	25/04/2016	38° 24' 40,8"	9° 12' 58,98"	15	13,873	15,844
	LC82040332016052LGN00	21/02/2016	39° 24'47,34"	9°38'20,88"	4	9,723	8,273
	LC82040332016052LGN00	21/02/2016	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	10,5	10,64	8,817
Sentinel 2	S2_152212	22/12/2015	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	12,5	10,27	16,78
	S2_163004	30/04/2016	38° 26'14,94"	9° 3'32,22"	11	10,63	12,28

Pacotes de imagens com os respetivos resultados teóricos e reais recolhidos durante as Campanhas.

Local	Dia	Pacote de imagens	Amostra	Latitude (N)	Longitude (W)	P.S. Reais (m)	P. S. Modelada (m)	
							Z_{sd}	$Z_{sd_{doce}}$
Tejo	30/09/2015	LC82040332015273LGN00	1	38,72733	-9,0425	0,25	7,135	8,06
			2	38,739	-9,034833	0,3	8,024	7,172
			3	38,75283	-9,023333	0,5	8	7,035
			7	38,76894	-9,037833	0,6	8,283333	7,324444
			8	38,76917	-9,048667	0,45	8,76	7,208
			9	38,76617	-9,053333	0,55	8,255714	7,437143
			10	38,71483	-9,105667	0,85	8,473333	8,452222
Sesimbra	17/04/2016	LE72040332016108EDC01	2	38,43267	-9,063	8,25	12,88889	13,88889
Sado	20/05/2016	S2_162005	8	38,476500	-8,812833	5	10,36	13,70
Tejo	14/03/2016	S2_161403	2	38,787883	-9,07700	0,5	4,74	4,74
			4	38,785830	-9,067140	0,5	4,92	4,89
			5	38,782333	-9,061167	0,25	4,76	4,75
			7	38,784167	-9,052833	0,25	4,76	4,75
			8	38,789028	-9,051010	0,25	4,73	4,72

Anexo J – Script**ProcessBands**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %
% Calculo de Refletancia - BRef
% Calculo de Radiancia - BRad
% Calculo de Refl. Sup. - Brrs
% Calculo de Param. Alg. - u
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Clears everything
clc; clear; close all;

% NOTE: FOR NOW IMAGES ARE ALREADY HAND SELECTED
% LC8204033201axxxLGN00

% DEBUG STUFF
tic

% Get day when image was taken (NOT NEEDED, for now)
% [a, m, d] = datevec(xxx);

% Creates folders to save everything
if ~exist('2016/1302/', 'dir')
    mkdir('2016/1302/Band 1/');
    mkdir('2016/1302/Band 2/');
    mkdir('2016/1302/Band 3/');
    mkdir('2016/1302/Band 4/');
    mkdir('2016/1302/Band 5/');
    mkdir('2016/1302/LandMask/');
else
    %rmdir('2016', 's')
    mkdir('2016/1302/Band 1/');
    mkdir('2016/1302/Band 2/');
    mkdir('2016/1302/Band 3/');
    mkdir('2016/1302/Band 4/');
    mkdir('2016/1302/Band 5/');
    mkdir('2016/1302/LandMask/');
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Mask processing

fprintf('Extracting mask...\n')

B8 = double(imread('data/sentinel 2/13_2_2016/NC_B08.jp2'));

% Replaces an ugly for loop

B8(B8 == 0 | B8 > 1000) = NaN;
B8(B8 <= 1000) = 1;

% Unites the masks
%Mask = BQA.*B5;

```

```
Mask=B8;

clear B8

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% % TRATAMENTO BANDA
fprintf('Loading Bands...')
fprintf('Loading Band 2...')

% RawBand2 = double(imread('data/sentinel
2/22_12_2015/MCB02.jp2')).*Mask;
%     RawBand2(RawBand2 > prctile(sort(RawBand2(:)),99)) = NaN;
%     RawBand2(RawBand2 < prctile(sort(RawBand2(:)),1)) = NaN;
%     Band(:, :, 2) = RawBand2;
% fprintf('2...')
% clear RawBand2
%
% RawBand3 = double(imread('data/sentinel
2/22_12_2015/MCB03.jp2')).*Mask;
%     RawBand3(RawBand3 > prctile(sort(RawBand3(:)),99)) = NaN;
%     RawBand3(RawBand3 < prctile(sort(RawBand3(:)),1)) = NaN;
%     Band(:, :, 3) = RawBand3;
% fprintf('2...')
% clear RawBand3
%
% fprintf('3...')
% RawBand4 = double(imread('data/sentinel
2/22_12_2015/MCB04.jp2')).*Mask;
%     RawBand4(RawBand4 > prctile(sort(RawBand4(:)),99)) = NaN;
%     RawBand4(RawBand4 < prctile(sort(RawBand4(:)),1)) = NaN;
%     Band(:, :, 4) = RawBand4;
% fprintf('2...')
% clear RawBand3
%
% RawBand8 = double(imread('data/sentinel
2/22_12_2015/MC_B08.jp2')).*Mask;
%     RawBand8(RawBand8 > prctile(sort(RawBand8(:)),99)) = NaN;
%     RawBand8(RawBand8 < prctile(sort(RawBand8(:)),1)) = NaN;
%     Band(:, :, 4) = RawBand8;

Band(:, :, 2) = double(imread('data/sentinel
2/13_2_2016/B02NC.jp2')).*Mask;
Band(:, :, 3) = double(imread('data/sentinel
2/13_2_2016/B03NC.jp2')).*Mask;
Band(:, :, 4) = double(imread('data/sentinel
2/13_2_2016/B04NC.jp2')).*Mask;
Band(:, :, 8) = double(imread('data/sentinel
2/13_2_2016/NC_B08.jp2')).*Mask;

fprintf('Done. \n')

fprintf('Processing Band ')

clear Mask

for i = 1:4
```

```

fprintf('%d',i)

BRef =Band(:, :, i);
Brrs = BRef./(0.52 + 1.7.*BRef);
fprintf('.')
Bu = (-0.0895 + sqrt(0.0895.^2 + 4.*0.1247.*Brrs))./(2*0.1247);

fprintf(':')
save(['2016/1302/Band ', num2str(i), '/Ref.mat'], 'BRef', '-v7.3')
fprintf(':')
save(['2016/1302/Band ', num2str(i), '/rrs.mat'], 'Brrs', '-v7.3')
fprintf(':')
save(['2016/1302/Band ', num2str(i), '/u.mat'], 'Bu', '-v7.3')
fprintf('.')

end
fprintf('Done.\n')

% clear

```

ProcessAlgorithm

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% ALGORITHM
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc; clear; close all

%água doce%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

copyfile('data/sentinel
2/13_2_2016/B01NC.jp2','data/Zsd_doce_161302.jp2')

load('2016/1302/Band 3/Ref.mat');
BRef4 = BRef;
BRef4(BRef4<0) = NaN;
load('2016/1302/Band 1/Ref.mat');
BRef2 = BRef;
BRef2(BRef2<0) = NaN;

ratio=log(BRef2./BRef4);
clear BRef4 BRef2

secchi_doce= -1.44.*ratio-1.27;
clear ratio
Zsd_doce=1./exp(secchi_doce);
clear secchi_doce

Zsd_doce_161302=Zsd_doce;

a=imformats('data/Zsd_doce_161302.jp2','update');

```

```

write(a,Zsd_doce_161302)
close (a)

clear BRef2 BRef4 racio secchi_doce

% %agua salgada%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fprintf('Calculating a_440 & a_555...\n')
load('2016/1302/Band 1/rrs.mat');
Brrs2 = Brrs;
Brrs2(Brrs2<0) = NaN;
load('2016/1302/Band 2/rrs.mat');
Brrs3 = Brrs;
Brrs3(Brrs3<0) = NaN;
clear Brrs

v_555      = log(Brrs2./Brrs3);
n          = 2.2*(1-1.2.*exp(-0.9.*(Brrs2./Brrs3)));
a_440      = exp(-2.0-1.4.*v_555+0.2.*v_555.^2);

media_abs = nanmean(nanmean(a_440))

clear Brrs2 Brrs3 v_555 n
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%calculo do C0
R_secchi= 0.82;
C0=40;
Cmin = 0.066;
lel = C0./Cmin;
y0= log(lel);

load('2016/1302/Band 1/Ref.mat');
BRef2      = BRef;
load('2016/1302/Band 2/Ref.mat');
BRef3      = BRef;

R_490= (4*BRef2)./(pi*0.529+4*0.48*BRef2);
R_560= (4*BRef3)./(pi*0.529+4*0.48*BRef3);

Zsd= 1.888.*y0.*((R_490./R_560)-0.52);

% Zsd_16140= uint8(Zsd);
% a2=Tiff('data/Zsd_16140.TIF','r+');
% write(a2,Zsd_16140)
% close (a2)

fprintf('The end....\n')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%estatistica%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

diferenca=Zsd-Zsd_doce;
media=abs(nanmean(nanmean(Zsd-Zsd_doce)))
dp=nanstd(nanstd(diferenca))

```